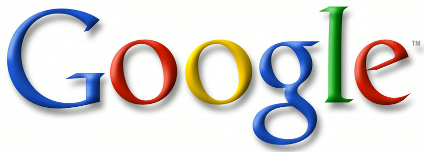




ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

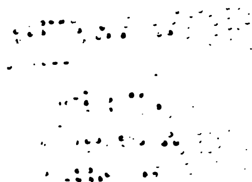
—

TOME X

—

Année 1883





PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

—

1883

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 Janvier-Février

SUR LES UNITÉS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

On donne généralement le nom de systèmes absolus aux divers systèmes d'unités électriques et magnétiques qui ont été mis en avant jusqu'ici, notamment aux systèmes électrostatique, électrodynamique et électromagnétique; et l'on admet que l'on peut indifféremment choisir l'un quelconque de ces systèmes incompatibles entre eux. Nous nous proposons dans ce travail : 1° de démontrer qu'il ne peut rationnellement exister qu'un seul système de dimensions pour les grandeurs électriques, lequel ne saurait être arbitraire, et doit être adopté à l'exclusion de tout autre ; 2° d'entreprendre la recherche de ce système.

Tout d'abord nous ferons remarquer que lorsqu'il s'agit des quantités géométriques et mécaniques, on est d'accord, sinon sur le choix des trois unités fondamentales, au moins sur les relations qui existent entre les dimensions de ces diverses quantités. Si l'on prend par

exemple comme unités fondamentales celles de longueur, masse et temps, les dimensions des autres quantités se trouvent entièrement déterminées ; celles d'une surface sont L^2, celles d'un volume L^3, celles d'une vitesse LT^{-1} celles d'une accélération LT^{-2} celles d'une force LMT^{-2}, etc. On ne songe même point à dire que ce sont là les dimensions de ces quantités *dans tel ou tel système;* ce sont leurs *dimensions* d'une manière absolue. Les dimensions d'une quantité résultent en effet de la nature de cette quantité et en sont en quelque sorte la représentation analytique.

Mais si cela est vrai et est admis par tous pour les quantités mécaniques et physiques qui nous sont très familières, il en doit certainement être de même pour toutes les quantités physiques, électriques ou autres, même celles dont la nature nous est le moins connue ; c'est-à-dire que, dès qu'une quantité physique quelconque se trouve suffisamment définie soit mathématiquement soit de tout autre manière, ses dimensions sont par là même forcément déterminées. Il est évident en effet que lorsqu'une telle quantité sera mieux connue et que son mécanisme nous sera plus familier, sa nature ne sera pas changée pour cela, et ses dimensions seront aussi bien déterminées que celles de la force, de l'énergie, etc.

Si d'ailleurs, par suite des progrès de la science la quantité en question était reconnue être d'une autre nature que celle qu'on lui avait attribuée d'abord, on serait, il est vrai, obligé de changer ses dimensions ; mais ce serait alors une quantité *différente* de la précédente, et il *faudrait* lui donner un *nom différent.* L'autre n'en resterait pas moins ce qu'elle était avec sa définition et ses dimensions primitives.

En résumé nous admettrons ce qui suit comme un véritable axiome, comme le premier *principe* sur lequel nous basons nos recherches, savoir :

Une même grandeur mécanique ou physique bien définie mathématiquement ou expérimentalement ne peut avoir qu'une seule formule de dimensions, c'est-à-dire ne peut être représentée que d'une seule manière en fonction des unités mécaniques fondamentales (longueur, temps et masse).

Si nous insistons sur ce point qui paraît évident *a priori*, c'est que nous voyons tous les jours se reproduire dans des travaux relatifs aux questions d'unités des confusions qui résultent uniquement de la méconnaissance de ce principe.

Il résulte de là en particulier pour les quantités électriques, que l'on ne saurait rationnellement admettre plusieurs systèmes de dimensions. On peut, il est vrai, hésiter au début de la théorie sur les définitions à donner aux quantités; mais encore est-il nécessaire d'arrêter ces définitions d'une manière complète et invariable. Une fois ces définitions données, on peut bien choisir telles *unités* que l'on veut, cela ne présente aucun inconvénient au point de vue théorique; mais les *dimensions* se trouvent dès lors fixées, et il s'agit de les dégager des définitions. Il se peut même *a priori* que l'on soit ainsi conduit à des dimensions tout autres que celles des systèmes électrostastique et électromagnétique.

Soit par exemple à déterminer les dimensions de la quantité d'électricité [Q] et de l'intensité de courant [I]. A cause de la relation : $q = it$ (qui n'est autre chose qu'une *définition*), il suffit de déterminer les dimensions de [Q] pour avoir celles de [I], et réciproquement. Les

lois de Coulomb et d'Ampère, exprimées par les formules :

$$f = k\,\frac{qq'}{r^2},$$

$$f' = k'\,\frac{ii'dsds'}{r'^2}\left(\cos\theta - \frac{3}{2}\cos\alpha\,\cos\alpha'\right)$$

ne peuvent faire connaître directement ces dimensions à cause de l'indétermination des coefficients k et k'. Comme on ne possède au sujet de ces coefficients que des données assez peu nombreuses et encore incertaines, on suppose généralement que l'on peut les considérer *à volonté* comme des coefficients purement numériques dont la valeur peut être fixée arbitrairement, ou comme des quantités douées de dimensions et ayant un sens physique déterminé. On pose par exemple : $k = 1$, et l'on a le système électrostatique, dans lequel les dimensions de [Q] et de [I] sont :

$$[Q] = L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1},$$

$$[I] = L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2};$$

ou bien on fait $k' = 1$, et l'on a le système électromagnétique dans lequel

$$[Q] = L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}},$$

$$[I] = L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}.$$

Mais cette suppression facultative du coefficient dans l'une des formules de Coulomb ou d'Ampère, si elle n'offre pas d'inconvénients au point de vue pratique, est inadmissible au point de vue théorique. Ces formules, jointes à la *définition* q = it, montrent en effet que le rapport $\frac{k}{k'}$ *indépendamment de toute hypothèse*, est doué de dimensions et égal au carré d'une vitesse L^2T^{-2}.

Ce rapport est donc une quantité physique ayant un sens déterminé ; (on a même trouvé expérimentalement, par des mesures *indirectes*, pour la vitesse en question, lorsque le milieu diélectrique est de l'air, la valeur de la vitesse de la lumière). Il en résulte que l'un au moins des coefficients k et k' est autre chose qu'un coefficient purement numérique; et *a priori* on doit les traiter l'un et l'autre comme des quantités physiques ayant un sens absolu et non facultatif.

Et c'est ainsi que nous sommes conduits à poser un second principe de nos recherches relativement à la théorie de l'électricité et du magnétisme, savoir :

On n'a pas le droit, au point de vue théorique, de supprimer a priori *les coefficients des formules de Coulomb et d'Ampère et de toutes celles qu'on en déduit sans avoir cherché d'abord à en déterminer la nature.*

Quelle est la nature de ces deux quantités? C'est ce que l'expérience seule peut faire connaître. Les valeurs de k et de k' restent constantes à la condition que les phénomènes électrostatiques ou électrodynamiques se passent toujours dans le même milieu ; mais ces valeurs peuvent varier d'un milieu à un autre. Par conséquent k et k' sont les coefficients d'intervention du milieu dans les deux formules ci-dessus. On peut imaginer diverses méthodes pour étudier la loi de variation de ces coefficients dans les divers milieux. Nous allons tâcher d'indiquer comment cette étude peut être dirigée, et quel en est le résultat probable d'après les faits connus jusqu'ici.

1° Étude du coefficient k. — Si on laisse ce coefficient dans la formule de Coulomb, sans même en connaître la nature et les dimensions, en définissant le

potentiel et la capacité d'un système électrisé comme on les définit ordinairement, on trouve que la capacité varie en raison inverse de k. Il en résulte que k peut être considéré comme l'inverse de ce qu'on nomme *pouvoir inducteur spécifique* d'un milieu diélectrique. Sous cette forme il est peut-être plus facile de se représenter le rôle de ce coefficient dans les formules. Ainsi l'on voit que si l'on écrit la formule de Coulomb *pour le cas de l'air :*

$$f = \frac{qq'}{r^2},$$

cela revient à prendre le pouvoir inducteur spécifique de l'air comme unité. Mais alors dans un autre milieu dont le pouvoir inducteur est différent et égal, par exemple, à 3, la valeur de k est égale à 1/3 ; la formule précédente, pour ce milieu, est inexacte et doit être remplacée par :

$$f = \frac{1}{3}\frac{qq'}{r^2}.$$

Par le seul fait que la valeur de k varie suivant les milieux et que la formule

$$f = \frac{qq'}{r^2}$$

n'est pas générale, on voit combien il est arbitraire de traiter *a priori* k comme une constante que l'on peut prendre égale à 1. Or, c'est là ce que l'on fait pour obtenir le système électrostatique.

Divers physiciens en étudiant les pouvoirs inducteurs spécifiques de divers milieux diélectriques transparents ont cru remarquer que ces pouvoirs sont proportionnels au carré des indices de réfraction de la lumière. *Si* cette loi *était* vraie, on en *concluerait* que les inverses, c'est-à-dire les valeurs de k, sont proportionnelles au carré de la vitesse V de la lumière dans ces milieux. Le rapport $\frac{k}{V^2}$ *serait* alors une constante absolue ; il *serait*

indépendant non seulement des quantités d'électricité en présence et de leurs positions relatives, mais encore de la nature du milieu. Soit : $\frac{k}{V^2} = \alpha$. La formule de Coulomb *pourrait* alors s'écrire :

$$f = \alpha V^2 . \frac{qq'}{r^2},$$

α étant réellement un coefficient numérique dépourvu de sens physique, que l'on pourrait prendre égal à 1 pour définir *l'unité* de quantité d'électricité. Les dimensions de [Q] *seraient* alors :

$$[Q] = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}},$$

et le système électromagnétique se *trouverait* être par conséquent le système rationnel qui seul doit exister.

Il manque, il est vrai, pour que les conclusions précédentes s'imposent, deux points importants : 1° une définition très nette de l'indice de réfraction que l'on choisit pour le comparer au pouvoir inducteur spécifique d'un milieu, puisque l'indice de réfraction est variable suivant la longueur d'onde des rayons ; 2° une vérification précise de la loi énoncée plus haut. Toutefois tout porte à croire que la solution de cette question n'est pas éloignée et qu'elle sera conforme aux conclusions ci-dessus. Nous instituons des expériences pour le vérifier avec précision. En attendant nous n'affirmons rien de plus que ce que nous venons de dire.

2° Étude du coefficient k'. — On peut imaginer pour l'étude de k' diverses méthodes basées soit sur l'attraction ou la répulsion des courants, soit sur les phénomènes d'induction électrodynamique. Nous donnons plus loin le résultat d'expériences d'induction entreprises par nous dans ce but. Ces expériences paraissent établir ainsi qu'on le verra que dans divers corps *dont le pou-*

voir inducteur spécifique varie dans des limites considérables le coefficient k' a une valeur *constante. Si* cette loi *était* vérifiée d'une manière générale, on en *pourrait* conclure que k' est une constante absolue et doit par suite être considérée comme un coefficient purement numérique dépourvu de sens physique.

Si nos prévisions se réalisaient ainsi; si les deux lois mentionnées ci-dessus, savoir : 1° que le rapport $\frac{k}{V^2}$ est une constante numérique ; 2° que k' est une constante numérique, étaient générales, on aurait là un résultat remarquable.

En effet ces deux lois auraient été établies *séparément, indépendamment l'une de l'autre*, et d'autre part elles se confirmeraient réciproquement, puisque l'on en déduit que le rapport $\frac{k}{k'}$ serait le carré d'une vitesse, condition qui, on le sait, *doit* être remplie *indépendamment de toute hypothèse.*

Quoi qu'il en soit, il est bien certain qu'il ne peut rationnellement exister plusieurs systèmes de *dimensions* (nous ne disons pas *d'unités*) pour les quantités électriques et magnétiques, que chacune de ces quantités a des dimensions parfaitement déterminées, et que pour trouver ces dimensions il est nécessaire de recourir à l'expérience au lieu de traiter arbitrairement les coefficients des formules de Coulomb et d'Ampère qui ont un sens *absolu* et non *facultatif* comme on l'admet ordinairement.

Voici maintenant les expériences indiquées plus haut : ce sont les premières de la série que nous nous proposons d'effectuer.

Parmi les méthodes que nous avons indiquées pour la

recherche de la nature du coefficient k', se trouve l'étude des phénomènes d'induction électrodynamique. Nous avons abordé cette étude dans des expériences faites à l'École supérieure de télégraphie en janvier 1883.

Nous avons pris une bobine d'induction construite spécialement à cet effet, dans laquelle un espace vide était ménagé entre les deux circuits secondaire et primaire, de telle sorte que lorsqu'on la plongeait dans divers milieux : air, alcool, huile, glycérine, benzine, pétrole, ces milieux remplissaient l'espace compris entre les deux circuits. Le circuit primaire était relié à une pile dont on faisait passer ou interrompait le courant à l'aide d'une clef. Le circuit secondaire était relié à un galvanomètre Thomson dont les déviations donnaient les quantités d'électricité induites par l'ouverture ou la fermeture du courant primaire. Soient i l'intensité du courant dans le circuit inducteur, M le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits, R la résistance du circuit induit et Q la quantité d'électricité induite. En partant de la formule d'Ampère et s'appuyant sur le principe de la conservation de l'énergie, on écrit ordinairement :

$$Q = \frac{Mi}{R};$$

et si l'on veut tenir compte de ce qu'il peut y avoir dans le voisinage d'autres circuits, au nombre desquels on comprendra les aimants et les corps magnétiques, on n'a qu'à ajouter au second membre un terme de la forme $\frac{\Sigma(M_n I_n)^\theta}{R}$, $I_1, I_2, \ldots I_n$ désignant les intensités des courants qui parcourent les circuits voisins en question; M_1, M_2, M_n les coefficients d'induction de ces circuits sur le circuit induit, et $\Sigma(M_n I_n)_0^\theta$ désignant la variation de

$\Sigma M_n I_n$ pendant la durée θ du phénomène d'induction. On a ainsi :

$$Q = \frac{Mi}{R} + \frac{\Sigma(M_n I_n)_0^\theta}{R}.$$

Mais cette formule est obtenue en supprimant le coefficient k' dans la formule d'Ampère :

$$f = k' \frac{ii'dsds'}{r^2}\left(\cos\theta - \frac{3}{2}\cos\alpha\cos\alpha'\right),$$

ou, ce qui revient au même, en remplaçant $i\sqrt{k'}$ par i et $i'\sqrt{k'}$ par i'. Pour rétablir le coefficient k' dans les formules, il suffira donc de faire la transformation inverse et de remplacer partout i, I,... par $i\sqrt{k'}$, $I\sqrt{k'}$,... on a ainsi :

$$Q = \left(\frac{Mi}{R} + \frac{\Sigma(M_n I_n)_0^\theta}{R}\right)\sqrt{k'}.$$

Le courant inducteur i étant toujours le même et les circuits conservant les mêmes positions relatives, si l'on vient à plonger la bobine d'induction dans différents milieux, on voit que Q est proportionnel à $\sqrt{k'}$. Si donc on trouve pour Q une quantité constante dans tous les milieux, c'est que k' est une constante absolue, indépendante des milieux, de la nature des expériences et des unités fondamentales de longueur, de masse et de temps.

Or c'est ce qui résulte des trois séries d'expériences suivantes où les déviations indiquées sont les moyennes de plusieurs observations identiques pour la plupart, les autres ne différant pas d'une demi-division de l'échelle qui servait à mesurer les déviations.

Première série d'expériences.

Circuit inducteur : 450 tours de fil de cuivre de $0^{mm},25$ de diamètre sur un cadre rectangulaire de $0^m,050$ sur $0^m,015$.

Circuit induit : 450 tours de fil de cuivre de $0^{mm},25$ de diamètre sur un cadre rectangulaire de $0^{m},058$ sur $0^{m},023$.

Pile : 50 callaud en tension.

La bobine étant plongée successivement dans l'air, dans de l'alcool et dans de l'huile ordinaire, la déviation galvanométrique fut constante et égale à $11^{div},5$. — L'expérience fut modifiée pour augmenter cette déviation.

Deuxième série.

Circuit inducteur : mêmes conditions.

Circuit induit : 600 tours de fil de cuivre au lieu de 450.

Pile : 48 callaud (six groupes de huit éléments en tension chacun).

La bobine étant plongée successivement dans l'air, l'alcool, l'huile, la glycérine, la benzine et le pétrole, la déviation galvanométrique fut constamment de 69°.

Troisième série.

Circuit inducteur : mêmes conditions. Résistance mesurée $= 23^{ohms},5$.

Circuit induit : mêmes conditions. Résistance mesurée $= 38^{ohms}$.

Pile : 96 callaud (six groupes de 16).

Galvanomètre : 1° résistance $= 3.600^{ohms}$; 2° déviation pour un micro-coulomb $= 393^{div}$.

Les expériences furent reprises seulement dans l'air, la glycérine et le pétrole. Les déviations observées varièrent de 156,5 à 157.

On peut donc dans les expériences précédentes regarder Q et par suite k' comme constant, tandis que si l'on

eût mesuré les valeurs de k dans les mêmes circonstances on eût trouvé, comme on le sait, des nombres variant dans des limites étendues.

D'après les idées universellement admises, les coefficients des formules d'électromagnétisme seraient analogues à k' et par conséquent ils devraient être comme lui indépendants des milieux. Cela résulterait des expériences précédentes où nous avons pu constater des actions électromagnétiques sensibles.

Les expériences précédentes viennent donc à l'appui des idées que nous avons émises plus haut, et il semble que l'on puisse admettre : 1° que le coefficient k' des formules d'électrodynamique est une constante absolue; 2° qu'il en est probablement de même du coefficient des formules d'électromagnétisme ; 3° que dès lors k' étant une constante absolue, le coefficient k de la loi de Coulomb est le carré d'une vitesse.

On peut ajouter que, pour le cas de l'air, cette vitesse (en laissant de côté pour le moment la question de savoir si c'est précisément celle de la lumière) est d'environ 300.000 kilomètres par seconde; car ce dernier nombre est à peu près la moyenne de ceux que l'on a trouvés expérimentalement en mesurant le rapport des unités électromagnétique et électrostatique de quantité d'électricité, et ce dernier rapport est précisément égal à $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ dans l'air.

Nous continuerons d'ailleurs nos expériences sur ce sujet.

E. Mercadier, Vaschy.

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ DE 1881

(EXTRAIT)

TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ

Fils, câbles et accessoires.

(Suite.)

Section II. — *Matières isolantes.*

Parmi les matières isolantes, les unes servent à la fabrication des isolateurs pour lignes aériennes et des plaques isolantes pour appareils télégraphiques, les autres à la fabrication des fils recouverts et des câbles.

Isolateurs. — *La porcelaine émaillée* est la substance la plus généralement employée pour les isolateurs. Ses qualités isolantes dépendent du choix de la pâte (le kaolin le plus blanc n'est pas celui qui isole le mieux), de celui de l'émail (dont la composition elle-même doit dépendre de la nature de la pâte) et du mode de fabrication (l'isolateur obtenu au *tour à porcelaine* est moins poreux que l'isolateur *moulé*) .MM. de Fuisseaux (manufacture de Baudour, près Mons) exposent, dans la section belge, environ 1.500 isolateurs en porcelaine des divers types en usage. Cette maison fournit un certain nombre

d'administrations européennes; et en ce qui concerne la France, on doit reconnaître que la part qu'elle a prise aux adjudications, nonobstant les droits d'entrée, a contribué à abaisser notablement le prix de ce matériel. On remarque encore les beaux spécimens de MM. Hache et Pepin-Lehalleur (Vierzon), Frion et Thierbé, dans la section française; de MM. Ginori (Florence) et Richard (Milan), dans la section italienne; de Fukagawa (Arita, par Nagasaki), dans l'exposition du Japon.

Les isolateurs en *grès* ou *faïence brune* sont très employés en Angleterre sous deux formes: l'isolateur double en V (isolateur composé de deux cloches distinctes et reliées par un ciment) et l'isolateur commun en Z (dont la double cloche est faite d'un seul morceau). MM. Bourne and Sons, Stiff and Sons exposent ces divers types.

Le *verre* isole bien, mais l'humidité se dépose facilement sur sa surface. L'isolateur américain de Brooks est en verre soufflé et paraffiné; il a la forme d'une bouteille renversée, cimentée dans un cylindre de fer. Le verre entre aussi dans l'isolateur métallique à scellement vitreux de M. Papin (France) : les constructeurs de paratonnerres en font des embases et des anneaux servant à isoler des édifices (ce qui est un tort) les conducteurs allant de la ligne au sol.

L'*ébonite* ou caoutchouc durci est un mélange de 5 parties de caoutchouc et de 2 à 3 parties de soufre : la masse étant rendue homogène et ayant la forme voulue, on la chauffe pendant plusieurs heures à 76° C. en vase clos et sous une pression de 4 à 5 atmosphères. L'exposition à l'air et à la lumière détermine l'oxydation du soufre et la formation d'acide sulfurique, l'ébonite devient cassante et poreuse, et retient les poussières; on la

préserve par un vernis à la gomme-laque. Enfin l'humidité couvre sa surface d'une couche d'eau continue, tandis qu'elle ne forme sur la porcelaine que des gouttelettes séparées, et l'ébonite mouillée sèche très difficilement. On l'emploie en Belgique pour former la cloche intérieure des isolateurs; on l'emploie aussi pour la confection d'isolateurs très légers destinés à la télégraphie militaire, tels que ceux exposés par MM. Ménier (France), Le Tellier et Verstraet (France), et Pavoux (Belgique).

L'ébonite devient la *vulcanite*, quand on y ajoute des substances colorantes, telles que le sulfure d'antimoine ou le vermillon qui donnent une couleur orange ou rouge. Quand on se sert d'un sulfure, il faut avoir soin de diminuer la proportion de soufre naturel ajoutée au caoutchouc. Le sulfure d'antimoine aurait l'avantage d'empêcher les efflorescences de soufre à la surface de l'isolateur.

On a proposé l'emploi du *celluloïd* (mélange de camphre, pyroxiline et alcool, comprimé à 80° C. et sous une pression de 150 atmosphères); mais ce produit n'a pas encore été expérimenté.

Fils recouverts et câbles. — La désignation de *fil recouvert* s'applique généralement à tout conducteur simplement revêtu d'un diélectrique, celle de *câble* aux fils recouverts (un ou plusieurs), quand ils sont protégés par des enveloppes textiles avec ou sans armature métallique. Nous allons passer en revue les divers diélectriques employés dans la fabrications des fils recouverts et des câbles.

Gutta-percha. — En 1842, le Dr Montgomery observa que le manche de la cognée dont se servait un naturel des îles de l'archipel indien était fait d'une substance particulière qui se ramollissait dans l'eau chaude et de-

venait assez plastique pour prendre par le moulage toute espèce de forme. Il rapporta des spécimens en Angleterre et les présenta à la Société des arts, en 1843 et 1844. M. Williams Siemens, qui s'y trouvait, pensa que cette substance pourrait avoir d'utiles applications dans la télégraphie, et en fit parvenir un échantillon à son frère le D[r] Werner Siemens (*) qui expérimenta cette substance à Berlin, pendant que Faraday, de son côté, constatait ses propriétés isolantes. En 1847, MM. Siemens et Halske imaginèrent la première presse destinée à recouvrir les fils conducteurs d'une couche cylindrique et continue de gutta-percha. Cette presse figure dans l'exposition rétrospective de l'Allemagne, avec des échantillons des fils isolés qui en sont sortis. En 1848, la *Guttapercha Company* commence à fabriquer des fils recouverts.

Dans l'origine, on considérait la gutta-percha comme fournie par une seule espèce d'arbres, l'*isonandra gutta*. On sait aujourd'hui que le suc laiteux d'un certain nombre d'arbres, appartenant pour la plupart à la famille des *sapotées*, entre dans la substance connue sous le

(*) M. Werner Siemens était alors officier de génie en Prusse et membre d'une commission chargée de l'étude de la construction des télégraphes. Il songeait à se servir de fils recouverts de caoutchouc pour la construction des lignes souterraines, et trouvant que le gutta-percha était préférable, il en proposa l'emploi au gouvernement prussien en 1846. Tout d'abord, le fil fut recouvert à l'aide de deux bandes ds gutta-percha, mais ayant reconnu que l'humidité arrivait au conducteur, il imagina sa presse, qu'il ne fit pas breveter alors, parce qu'il était au service du gouvernement. Le 23 avril 1850, il prit brevet en Angleterre, seulement pour quelques perfectionnements. Voici maintenant quelques antériorités. Le premier brevet concernant la gutta-percha a été pris par M. Charles Hancock, en 1844, pour bouchons et obturateurs; en 1845, M. Bewley brevète une machine à faire des tubes; en 1848, M. Thomas Forster, puis M. Lewis Ricardo brevètent la fabrication de fils recouverts de gutta-percha, en plaçant les fils entre deux bandes qu'on faisait passer entre des cylindres à gorge chauffés à la vapeur. (*Journal de la Société des ingénieurs des télégraphes*, 1876.)

nom de gutta-percha. Ces arbres se trouvent principalement dans l'archipel indien et la presqu'île de Malacca. Le *dichopsis*, que l'on rencontre dans les forêts du Cambodge et de la Cochinchine française, semble donner un produit analogue. Les Guyanes et le Brésil fournissent la *sève de Balata* ou *gutta de Surinam*, qui est une variété de gutta se rapprochant du caoutchouc.

Le commerce distingue plusieurs sortes de gutta-percha, qu'il désigne tantôt par les noms des marchés où se fait le trafic (Macassar, Singapore), tantôt par ceux des pays de production (Sumatra, Bornéo, Java, etc.). Mais il règne une grande confusion dans ces dénominations, en raison des mélanges qu'opèrent les indigènes ou les intermédiaires. La gutta brute arrive en Europe en blocs de 1 à 4 kilogrammes, dont MM. Siemens frères (Angleterre) et Ménier (France) exposent des spécimens. Les Malais donnent quelquefois à ces blocs la forme d'animaux bizarres (exposition de MM. Siemens), le plus souvent celle de pains ou bouteilles à long col. Ces blocs renferment des fragments de bois, de la terre et diverses résines, lesquelles proviennent soit de l'altération spontanée de la substance au contact de l'air, soit des sophistications dont elle est l'objet. La qualité d'une gutta est en raison inverse de la quantité de résines qu'elle contient.

La meilleure gutta est jaunâtre et fibreuse; les autres sont rougeâtres ou blanchâtres et souvent visqueuses. Les gutta dites de Java et de Macassar sont les plus estimées, puis viennent les Sumatra, et en dernière ligne celles dites Bornéo. Les gutta Bornéo sont blanchâtres et renferment un lait qui fermente en dégageant une odeur caractéristique d'acide butyrique; plus tard elles subissent une nouvelle altération et répandent une odeur

parfumée de butyrate d'amyle. Finalement elles se résinifient tout à fait, perdent leur odeur et tombent en poussière. Quelques guttas provenant de Bornéo sont cependant considérées comme bonnes : elles portent alors des noms de provinces de cette île (Boelongan, Bandjermassin).

Les procédés de purification sont seulement mécaniques, mais assez compliqués. MM. Siemens, Ménier et Clark Muirhead exposent des échantillons de la substance dans les diverses phases de sa manipulation.

La gutta a la même composition chimique que l'huile de térébenthine, soit 88 pour 100 de carbone et 12 pour 100 d'hydrogène. Elle est insoluble dans l'eau et très peu soluble dans l'alcool et l'éther; elle se dissout librement, surtout avec la chaleur, dans le sulfure de carbone, le naphte, la créosote, la benzine, le chloroforme, l'huile de térébenthine et les essences analogues. Elle est complètement inaltérable dans l'eau; mais sous l'action de l'oxygène de l'air, elle brunit et devient cassante, en se transformant en une résine soluble dans l'alcool. L'oxydation est facilitée par la lumière, la chaleur, et surtout les alternatives de sécheresse et d'humidité; elle marche rapidement sous l'influence combinée de ces diverses causes.

Le Dr Miller (*) a montré que la gutta-percha du commerce, avant d'être spécialement soumise à toute action oxydante, contenait déjà dans une certaine proportion la résine, qui est le produit de l'oxydation. Dans un échantillon de *bonne* gutta du commerce, provenant d'un câble neuf et fourni par M. Latimer Clark, il a trouvé 15 pour 100 de résine et 2,5 pour 100 d'eau mé-

(*) Voir l'adresse inaugurale du professeur Abel, à la Société des ingénieurs des télégraphes, dans le journal de cette société, t. VI, 1877.

caniquement interposée : cette eau lui parut avoir quelque influence sur la dureté et la souplesse de la matière.

Les procédés mécaniques de préparation de la gutta-percha ont été beaucoup perfectionnés depuis la date du *Rapport du Comité du télégraphe sous-marin* (1861), qui relate les expériences du docteur Miller ; il ne semble pas cependant qu'aucune amélioration ait été obtenue en ce qui concerne la qualité de la matière, envisagée au point de vue de sa composition chimique. Par des analyses récentes, M. Abel a constaté que la gutta en feuilles la plus estimée contient encore près de 13 pour 100 de résine et 5 pour 100 d'eau, et que, pour des guttas bonnes, mais venant après, la proportion varie en général de 20 à 27,5 pour 100 pour la résine et de 3 à 12 pour 100 pour l'eau. D'autre part, une feuille de gutta du même prix que celles-ci, au bout d'un an de magasin, renfermait 20 pour 100 de résine et 4 d'eau ; et un bâton de gutta-percha continuellement exposé à l'air et à la lumière pendant plusieurs années contenait 24 pour 100 de résine et 2 pour 100 d'eau ; il n'est donc pas évident que ces spécimens aient subi une altération.

Dans l'application de la matière sur les fils, on s'efforce autant que possible de chasser l'eau et l'air contenus dans la gutta en feuilles ; néanmoins deux fils recouverts, provenant de la même manufacture et de fabrication moderne, contenaient encore 1,86 et 3,97 pour 100 d'eau, tandis qu'un fil recouvert laissé dans l'eau pendant plus de dix ans n'en renfermait que 3,07 pour 100, c'est-à-dire moins que l'un des précédents.

« Il n'est donc pas douteux, conclut M. Abel, que l'oxydation ne soit favorisée par les procédés mécani-

ques de mastication, etc., auxquels on soumet la gutta-percha, pour en séparer certaines impuretés et la rendre bien homogène. Par conséquent, la proportion de résine dans la matière travaillée, c'est-à-dire l'introduction dans la gomme d'une substance diminuant les qualités les plus précieuses d'un diélectrique destiné à la télégraphie, dépend dans une certaine mesure du degré même de perfection du traitement mécanique ayant pour objet la séparation des impuretés. L'examen de *vieilles* guttas de bonne qualité semble prouver que, pourvu que la matière ait été amenée à un état suffisamment compacte, dont la proportion d'eau interposée peut donner une idée, l'oxydation de la gomme par l'exposition à l'air et à la lumière marche encore, mais lentement (*).»

Dès 1852 (**), M. Edwin Clark était arrivé à cette conclusion, aujourd'hui bien établie, que dans le travail de préparation de la gutta-percha, une certaine quantité d'eau s'unit mécaniquement à la gomme et que, lorsque la matière est ensuite exposée aux variations de température, l'eau s'évapore et laisse dans la gomme une résine poreuse. Il pensa que si le fil était recouvert d'une substance isolante susceptible de remplir les interstices de la gutta-percha laissés vides par l'évaporation de l'eau, la gomme conserverait probablement ses qualités. De là l'idée de recouvrir les âmes en gutta-percha de rubans saturés de goudron. Seulement, à l'origine, on commit l'imprudence de passer le fil recouvert dans un bain de goudron chaud et de l'exposer au soleil sur des

(*) Professeur Abel, discours cité.

(**) Voir dans le *Journal de la Société des ingénieurs télégraphiques*, année 1877, la communication de M. Willoughby Smith, sur les *télégraphes souterrains*, et la discussion à laquelle elle a donné lieu. Voir aussi dans le même journal, p. 234, année 1880, la communication de M. Preece sur les détériorations de la gutta-percha.

barres de bois : le fil de cuivre se décentra et vint affleurer à la surface du diélectrique. On reprocha alors au goudron de masquer momentanément, par ses propriétés isolantes, le défaut de fabrication des âmes, et en 1861, M. Willoughby Smith remplaça, dans la construction des câbles sous-marins, le chanvre ou jute goudronné par du chanvre ou jute, trempé dans du tannin ou du cachou et appliqué humide. Mais on continua à se servir de rubans goudronnés dans les câbles souterrains. M. W. Smith prétend que ce goudron attaque la gutta-percha; il entre généralement dans le goudron des principes exerçant une action dissolvante sur la gutta et qui pénètrent dans la gomme devenue poreuse par l'évaporation de l'eau mécaniquement interposée. Toute la question est de savoir si le goudron de bois ou goudron de Stockholm, dont l'emploi est exclusivement prescrit parce qu'on le regarde comme débarrassé de créosote, ne renferme pas de ces principes dissolvants. On a des exemples de câbles souterrains et sous-marins en bon état au bout de vingt ans, malgré le goudron dont ils étaient enduits; le goudron, en pénétrant les pores de la gutta, peut tout d'abord faire baisser l'isolement (de 20 à 30 pour 100, suivant quelques-uns), mais ensuite, dans un grand nombre de cas, l'isolement restant s'est bien maintenu, le ruban goudronné préservant d'ailleurs la gutta du contact de l'air. Comme, d'autre part, les rubans goudronnés sont incommodes quand il faut tirer les câbles dans des tuyaux, on a trouvé en France une solution satisfaisante pour les lignes souterraines en conduite, en plaçant sur l'âme une enveloppe de jute tanné par-dessus une enveloppe goudronnée, et enfin extérieurement une autre enveloppe de jute tanné. On évite également de cette façon le contact direct de la gutta et

du goudron. On a proposé aussi de recouvrir l'âme des câbles souterrains de jute tanné et d'empêcher l'accès de l'air par un ruban extérieur enduit de caoutchouc.

En Angleterre, on a essayé de remplacer le goudron par la paraffine, mais celle-ci est trop cassante. On obtient aujourd'hui de bons résultats avec l'ozokérite, qui est très souple et très plastique et augmenterait même l'isolement de 10 à 12 pour 100 (*).

Pour avoir un conducteur bien centré, la gutta-percha est placée sur le cuivre par couches successives, en général deux pour les câbles souterrains et trois pour les câbles sous-marins; et, pour faire adhérer la gutta sur le cuivre et les couches successives entre elles, comme pour remplir les interstices des torons conducteurs, on emploie la *composition Chatterton* (**), qui est un mélange de 1 de goudron de Stockholm, 1 de résine et 3 de gutta-percha. On a attribué un effet fâcheux à l'emploi de cette composition dans les soudures des câbles souterrains, à cause du goudron. Dans les lignes souterraines anglaises, après avoir supprimé d'abord le goudron et laissé la résine, on tend maintenant à supprimer tout à fait l'emploi de cette composition, non seulement dans les soudures, mais même dans les âmes. La meilleure solution, suivant M. Truman, serait d'avoir autant que

(*) En raison de son point de fusion assez élevé, l'ozokérite ne peut pas s'appliquer comme le goudron, en faisant passer dans la matière liquide le fil garni de son ruban. On fait d'abord passer le ruban dans de l'ozokérite fondue, à laquelle on ajoute un peu de poix de Stockholm pour donner du corps à l'enduit et boucher les pores du ruban; celui-ci ainsi préparé est appliqué à froid sur la gutta-percha. Pour imprégner le ruban de goudron de Stockholm, il fallait chauffer à 38° C. afin qu'il fût bien saturé, et cette température jointe à la présence de la créosote dans le goudron (?) faisait baisser l'isolement de la gutta.

(**) Pour faire adhérer les couches de gutta-percha, on employait autrefois du naphte minéral, qui exerçait une action dissolvante. C'est en 1857 que M. Smith trouva la composition dite Chatterton.

possible une enveloppe *solide* de gutta, c'est-à-dire une seule couche, sans composition intermédiaire ; et, d'après lui, les procédés de fabrication sont aujourd'hui assez parfaits pour qu'il ne soit plus nécessaire de procéder par couches successives afin d'obtenir le centrage du conducteur et d'éviter l'introduction des bulles d'air dans le diélectrique ; de plus on réalise une grande économie en ne faisant plus repasser plusieurs fois le fil sous la machine à recouvrir. La Compagnie de *Silvertown* a appliqué ce mode de fabrication aux câbles souterrains et aux câbles téléphoniques ; et, dans les câbles sous-marins qu'elle construit pour l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud, elle a réduit à deux le nombre des couches pour diminuer l'introduction de la Chatterton. M. Truman propose également de faire les soudures avec un moule dans lequel on fait couler de la gutta-percha chaude, qui ravive la surface des bouts dénudés et adhère avec elle. On gagne ainsi du temps et la soudure n'a pas un diamètre plus fort que l'âme. Les derniers câbles souterrains employés par le Post-Office sont à une seule couche de gutta et revêtus de ruban imprégné d'ozokérite.

La nature du terrain a une certaine influence sur la durée des lignes souterraines ; les câbles se conservent bien dans l'argile, ils s'altèrent facilement dans le gravier, très vite dans le sol imprégné de gaz d'éclairage et partout où existent des émanations de ce genre. Dans les premiers essais de lignes souterraines faits en Angleterre (1852-54), on remarqua que la détérioration se manifestait surtout aux endroits où se trouvaient des racines de chênes. M. Highton observa aux points défectueux la présence d'un champignon, auquel on attribua alors un grand rôle dans l'altération de la gutta-percha. M. Preece a constaté depuis que c'était surtout

dans les chambres de raccords (ou de soudures), c'est-à-dire aux points où l'accès de l'air est le plus facile, que la gutta s'altère; aussi convient-il que ces chambres soient hermétiquement fermées pour éviter le renouvellement de l'air. De plus, en examinant soigneusement la poussière qui se trouvait sur les parties détériorées, il y découvrit la présence d'un insecte microscopique, le *templetonia crystallina*, de la famille des *podura*, qui pourrait bien être la véritable cause de l'altération attribuée par Highton à un champignon.

On se garantit contre les attaques de cet insecte et celles des rongeurs, rats et souris, qui sont aussi des ennemis de la gutta, en enfermant le fil recouvert dans un tube en plomb. De même dans certains parages sous-marins infestés de tarets, on protège l'âme des câbles par un revêtement en ruban mince de laiton.

L'oxydation est le plus souvent la vraie cause de l'altération des câbles; elle est complètement arrêtée par l'immersion dans l'eau; les câbles sous-marins n'en souffrent jamais, il en est de même des câbles souterrains placés dans des conduites pleines d'eau; c'est ce qu'on a vérifié dans les pays chauds où les atterrissements des câbles sous-marins sont maintenant raccordés aux bureaux par des fils souterrains enfermés dans des tuyaux que des réservoirs placés au point le plus élevé maintiennent remplis d'eau. Mais, là où les conduites sont sèches et partout où l'air arrive, la gutta devient sèche et cassante.

On peut empêcher l'accès de l'air en noyant les fils recouverts dans une masse solide, du ciment, par exemple (*). M. Latimer Clark aurait obtenu d'excellents ré-

(*) Mais la recherche des dérangements devient difficile (voir la construction des lignes souterraines).

sultats en plaçant des fils vieux et détériorés dans une rigole en bois qu'il remplissait ensuite d'un mélange de goudron et de poix. Dans une ligne ainsi construite le long d'un tunnel, les fils étaient encore bons au bout de quinze ans, ce qui serait une nouvelle preuve qu'à l'abri de l'oxygène, de l'air et des insectes, la gutta se conserve bien.

Les gommes fibreuses sont celles qui ont le plus de durée; ce ne sont pas cependant celles qui possèdent l'isolement le plus élevé ni la capacité inductive la plus faible. Ainsi la gutta Macassar donne un isolement moindre et une capacité plus grande que la gutta Bornéo. On augmente les qualités électriques des gommes fibreuses, en les soumettant à une mastication prolongée; mais on détruit les fibres et on favorise l'oxydation de la substance. Aussi les fabricants ont-ils été conduits, autant par raison d'économie que pour exalter les qualités électriques de leurs produits, à faire des mélanges dans lesquels entrent des gommes inférieures. Les recueils de formules et tables électriques ayant été établis à une époque où l'on n'employait que des guttas fibreuses, il en résulte que les nombres qu'ils fournissent sont bien inférieurs pour l'isolement, et notablement supérieurs pour la capacité, à ceux que l'on obtient avec les guttas de fabrication moderne (*). Celles ci se ramollissent da-

(*) La résistance d'isolement par mille marin se calcule par la formule $R = A \log \frac{D}{d}$ meghoms, D étant le diamètre de l'âme, *d* celui du conducteur. Pour la gutta-percha, après vingt-quatre heures d'immersion à 24° C., et au bout d'une minute d'électrification, on fait pour les âmes récemment fabriquées (après le quatorzième jour), $A = 500$, et pour les âmes vieilles $A = 750$ environ. Souvent, dans les contrats, on spécicifie des nombres doubles ou triples de ceux donnés par la formule, et les isolements fournis par les fabricants sont encore bien supérieurs à ceux exigés. La façon dont se comporte le fil pendant une électrification pro-

vantage par la chaleur, résistent moins à la traction, etc. De là des dangers pour les câbles sous-marins, pendant le transport et l'opération de l'immersion; ces dangers ne sont plus à craindre, une fois le câble posé; mais ils reparaissent de nouveau, si un accident oblige à le relever. Les dangers sont bien plus grands quand il s'agit de câbles souterrains, surtout si ces câbles sont simplement recouverts d'enveloppes textiles et s'ils doivent subir les efforts de traction nécessaires pour les introduire dans des tuyaux. Les isolements considérables au début tombent vite et la matière se détériore par l'oxydation. Il est donc préférable, notamment pour les câbles destinés aux lignes en tuyaux, de n'employer que des gommes fibreuses, dont les qualités électriques sont moindres tout d'abord, mais offrent en revanche plus de permanence.

M. Willoughby Smith soumet la gutta à un traitement particulier qui réduit un peu son isolement, mais diminue de près de 20 pour 100 sa capacité inductive. Les câbles de l'*Eastern Telegraph Company* sont presque tous fabriqués avec cette matière. Quelques auteurs attribuent à cette gutta une résistance mécanique plus grande qu'à la gutta ordinaire, ce qui semble en contradiction avec le nom de *gutta surchauffée* qu'on lui donne quelquefois et qui indiquerait qu'elle doit ses

longée paraît être l'épreuve la plus sérieuse à laquelle on puisse soumettre le diélectrique; l'isolement doit augmenter d'une manière continue; des variations brusques, même quand l'aiguille du galvanomètre revient très vite à sa déviation normale, sont un indice de quelque imperfection. Dans les essais définitifs sur les câbles fabriqués, on prend les déviations de minute en minute, ou même de quinze en quinze secondes, pendant trente minutes au moins; et l'on suit de la même manière la décroissance de la déviation pendant la décharge du câble. Dans les essais partiels, on spécifie souvent que l'isolement sera pris au bout de deux minutes, quelquefois même au bout de cinq minutes.

propriétés à un traitement de nature à favoriser l'oxydation.

Les principales manufactures de fils et câbles en gutta-percha représentées à l'exposition sont : dans la section anglaise, MM. SIEMENS frères, l'INDIA-RUBBER, GUTTA-PERCHA AND TELEGRAPH WORKS COMPANY (Silvertown); en France, MM. RATTIER, MÉNIER, l'usine de PERSAN-BEAUMONT (succursale de Silvertown); dans la section allemande, MM. SIEMENS et HALSKE.

Caoutchouc. — Le caoutchouc de l'Amazone a été envoyé en France par La Condamine, lors de sa mission au Pérou (1736) : c'est le produit du *Siphonia élastica*, que l'on trouve surtout dans l'Amérique centrale et à Java; le caoutchouc de Para, qui est le plus estimé, provient de l'*Hevea Guyanensis* et du *Castilloa elastica*. Ce dernier a été transplanté dans les Indes par le gouvernement anglais; il y est cultivé sur une vaste échelle de préférence au *Ficus elastica*, qui est cependant une espèce indienne. Le commerce classe les caoutchoucs suivant leur provenance : d'abord les caoutchoucs de l'Amérique centrale et de l'Amérique méridionale, ceux d'Asie, qui renferment des impuretés, et ceux d'Afrique qui sont les moins estimés.

Le caoutchouc isole mieux que la gutta-percha et sa capacité inductive spécifique est notablement plus faible; de plus, il ne devient pas plastique à une température modérée, en sorte que le conducteur ne risque pas de se décentrer dans les pays chauds, comme cela arrive avec la gutta-percha. Mais ce manque de plasticité devient un inconvénient pour la fabrication, et on ne peut pas recouvrir le conducteur d'un tube continu de caoutchouc en employant la presse à filière. Enfin le caoutchouc n'adhère pas sur le conducteur.

Tout d'abord, on enroulait un ruban de caoutchouc en spirale autour du fil, chaque tour recouvrant le précédent, et on assurait la jonction en mouillant avec de l'huile de naphte ; MM. Silver opérèrent ensuite la jonction en plongeant le fil recouvert dans l'eau bouillante pendant une demi-heure. M. Siemens utilisa la propriété qu'ont deux surfaces de caoutchouc d'adhérer ensemble, lorsqu'elles sont fraîchement coupées et pressées l'une contre l'autre. Deux rubans de caoutchouc sont disposés longitudinalement de chaque côté du fil. Les bords, coupés par un laminoir, sont rapprochés en passant entre deux cylindres et se soudent immédiatement. Quand on applique plusieurs couches concentriques, les soudures de chaque couche sont placées à angle droit par rapport à celles de la couche précédente. Dans des câbles construits par MM. Siemens, le cuivre était d'abord enduit de composition Chatterton pour obtenir l'adhérence du caoutchouc sur le conducteur, et par-dessus le caoutchouc on plaçait encore de la Chatterton et une couche de gutta-percha pour protéger le caoutchouc qui est plus tendre que la gutta. Mais on constata que le caoutchouc devenait visqueux et qu'en se dilatant il tendait à crever l'enveloppe de gutta.

L'expérience a montré de plus que la proportion d'eau absorbée par le caoutchouc est plus grande que celle absorbée par la gutta-percha. Au bout de trois cents jours d'immersion, une plaque de caoutchouc absorbe de 10 à 25 p. 100 d'eau douce et 3 p. 100 d'eau salée et une plaque de gutta 1,5 p. 100 d'eau douce et 1 p. 100 d'eau salée. Les plaques de caoutchouc retirées de l'eau ont leur surface poisseuse, ce qui prouve que le caoutchouc un est peu soluble dans l'eau.

Comme la gutta-percha, le caoutchouc s'oxyde par

l'exposition à l'air et à la lumière, surtout par les alternatives de sécheresse et d'humidité, et l'altération est plus grande dans le produit manufacturé que dans le produit brut.

Le caoutchouc vulcanisé a de nombreux avantages : il conserve sa souplesse à de basses températures, résiste beaucoup mieux à la chaleur, ne s'oxyde pas à l'air, est plus élastique et absorbe moins l'eau. On a donc été conduit à remplacer le caoutchouc pur par du caoutchonc vulcanisé, et, comme l'étain est moins attaqué que le cuivre par le soufre, on a recouvert le fil de cuivre d'une couche d'étain.

Le caoutchouc vulcanisé a perdu d'autre part la propriété de se souder à lui-même quand il est fraîchement coupé. Les fils isolés de M. Hooper, qui ont servi à la confection de la plupart des câbles de la *Great Northern Company*, sont constitués de la manière suivante : sur le conducteur en fil de cuivre étamé, on applique un ruban de caoutchouc pur en spirale, puis une couche de caoutchouc travaillé avec de l'oxyde de zinc (*séparateur*), enfin une couche de caoutchouc travaillé avec de la fleur de soufre. Le fil recouvert de sa triple enveloppe est cuit pendant quatre heures à une température de 120° C., la vulcanisation s'opère et consolide le tout. La couche intermédiaire, ou *séparateur*, a pour objet d'empêcher que le soufre arrive jusqu'au conducteur et de limiter la vulcanisation aux couches extérieures.

D'après MM. Miller et Abel (*), le travail de mastication développe l'oxydation dans le caoutchouc comme dans la gutta-percha, sans doute parce qu'il augmente la porosité de la substance et la quantité d'air emprison-

(*) Professeur Abel, discours à la Société des Ingénieurs des télégraphes, déjà cité.

née dans sa masse. La vulcanisation rend la matière plus compacte ; malheureusement son action est très irrégulière et, avec des traitements en apparence identiques, on obtient des produits qui se comportent d'une façon tout à fait différente avec le temps. Tandis que quelques-uns possèdent une grande permanence, d'autres s'altèrent soit dans leur composition chimique soit dans leur constitution mécanique, soit dans les deux, quelquefois même sous l'eau et dans des conditions mal définies.

Le professeur Abel a examiné un grand nombre de fils et câbles en caoutchouc vulcanisé parmi ceux employés dans la télégraphie militaire ou dans le service des torpilles. Voici le résultat de ses observations sur des fils, les uns vulcanisés dans toute leur masse, les autres construits dans le système Hooper.

Quelques câbles militaires, en caoutchouc vulcanisé de part en part, étaient gravement détériorés au bout de dix-huit mois de service à l'air ; en certains points, le diélectrique était devenu poreux et se laissait traverser par l'humidité. Cette altération n'était pas continue, elle se montrait par places isolées. D'autres câbles, enroulés sur des bobines enveloppées de toiles et déposées dans un lieu sec et à l'abri de la lumière, avaient également souffert et présentaient des altérations très irrégulières. Sur des câbles de torpilles, à sept conducteurs et armés, on constatait après dix-huit mois d'immersion, que certains des conducteurs avaient un isolement bien inférieur à celui des autres conducteurs faisant cependant partie du même câble. La perte était encore due à des détériorations locales, semblables à celles des câbles militaires de la même provenance : ce qui prouve l'incertitude des résultats de la vulcanisation, quant à la permanence des qualités isolantes du diélectrique.

Des câbles militaires, construits dans le système Hooper, se sont parfaitement comportés pendant dix ans, et on ne remarquait aucun symptôme d'altération dans la couche de caoutchouc pur; il en a été de même d'un certain nombre de câbles armés, pour torpilles, qu'on avait conservés *à l'air;* la couche de caoutchouc pur ne donnait aucun signe d'altération, même au bout des câbles où l'air a un libre accès. Mais des câbles semblables conservés dans *l'eau*, et quelques câbles militaires conservés *à sec* à côté des autres dont nous venons de parler, se sont comportés tout autrement. Sur les câbles *immergés*, on remarquait qu'aux bouts, c'est-à-dire dans les parties hors de l'eau, la couche intérieure de caoutchouc pur était devenue visqueuse et découlait des extrémités, montrant que l'altération était bien due à l'oxydation par l'air et non au contact du caoutchouc avec le cuivre. Cette altération était limitée aux quelques décimètres laissés hors de l'eau pour les essais électriques et s'arrêtait brusquement à l'endroit où le câble entrait dans l'eau.

On a remarqué la même exsudation d'un produit visqueux aux extrémités de câbles Hooper armés et conservés dans *l'air:* mais, de plus, les câbles étant enroulés sur des bobines, l'altération s'étendait sur une grande longueur. « Il est impossible que l'oxygène atmosphérique ait pu pénétrer si loin par les extrémités du câble; car la nature visqueuse du produit semble encore devoir empêcher cette pénétration au delà d'une petite distance. Si donc l'altération du caoutchouc est le résultat d'une oxydation, il faut que l'oxygène ait accès dans l'intérieur du diélectrique *en traversant la substance* même du câble. Les recherches de Graham sur *l'absorption et la dialyse des gaz par les substances colloïdes* prouvent

non seulement que cette pénétration est possible, mais qu'elle existe certainement. Graham a trouvé que le caoutchouc absorbe une proportion d'oxygène telle que ce gaz doit être deux fois plus soluble dans le caoutchouc que dans l'eau, à la température ordinaire. L'oxygène arrive donc par les pores de la couche externe de caoutchouc vulcanisé à la couche interne de caoutchouc pur et quand celle-ci a commencé à s'oxyder, l'absorption du gaz par la couche externe va en croissant par le fait de l'assimilation continuelle de l'oxygène par la couche interne, qui détermine une sorte d'aspiration et agit dans une certaine mesure comme le vide qu'employait Graham pour forcer l'air très riche en oxygène à filtrer à travers un tube épais de caoutchouc vulcanisé. Ainsi s'explique l'altération de la portion non vulcanisée du diélectrique dans un câble Hooper exposé à l'air; et si un câble de ce genre reste exposé à l'air pendant un temps même assez court *avant* son immersion, le caoutchouc peut être déjà gravement altéré. Reste à expliquer pourquoi des câbles, dont le diélectrique a été préparé par les mêmes procédés et avec une uniformité aussi grande que possible et qui ont été conservés dans l'air côte à côte et exactement dans les mêmes conditions, se comportent si différemment : dans les uns, la portion non vulcanisée ne présentant pas la moindre trace d'altération, même aux extrémités, tandis que dans les autres, elle est transformée sur une longueur plus ou moins grande en produit visqueux.

« M. Hooper donne une explication qui, venant de la part d'un homme aussi compétent dans la question, mérite considération. Elle s'écarte toutefois du principe qu'il pose comme la base de son procédé, savoir la protection *absolue* de la couche interne du diélectrique contre l'ac-

cès du soufre. Elle consiste à admettre que l'imprégnation de cette couche par une petite quantité de soufre, pendant la vulcanisation, est essentielle pour la préserver de tout changement, en sorte que l'altération, qui se manifeste quelquefois à l'intérieur du diélectrique, tiendrait, d'après lui, à un accident qui aurait empêché cette petite quantité de soufre de pénétrer jusque-là. J'ignore si cette explication a été vérifiée, mais c'est là jusqu'à un certain point un problème que la science chimique doit arriver à résoudre, comme celui des altérations capricieuses que l'on remarque dans le caoutchouc vulcanisé de *part en part*.

« On doit constater que cette conversion du caoutchouc en un produit visqueux ne semble pas avoir pour effet d'affaiblir l'isolement des câbles dans lesquels elle s'est manifestée récemment ; mais il reste à vérifier expérimentalement si l'arrivée du soufre sur le conducteur, que M. Hooper a voulu surtout combattre, n'est pas favorisée par la conversion du caoutchouc pur interposé, en un produit semi-fluide qui peut aussi exercer à la longue un action dissolvante sur la couche extérieure vulcanisée et détruire ainsi l'isolement. Alors même que l'isolement ne tomberait pas au-dessous de la valeur exigée, la transformation en une matière semi-fluide de la substance solide qui entoure immédiatement le conducteur n'est-elle pas de nature à nuire à la constitution mécanique du câble? »

L'industrie du caoutchouc est représentée à l'Exposition par les maisons citées à propos de l'industrie de la gutta-percha. La maison Rattier, en France, s'est particulièrement occupée des câbles en caoutchouc pour la lumière électrique. Elle a fourni les câbles servant à l'éclairage de l'avenue de l'Opéra par le procédé Jabloch-

koff, câbles qui fonctionnent depuis quatre ans sans qu'on ait constaté de dérangement. Le conducteur en cuivre étamé est recouvert d'abord d'une couche de caoutchouc pur, puis de trois autres espèces de gomme combinées en vue de la vulcanisation par le recuit. Dans la section des États-Unis, la maison Hoosac Tunnel Tri-Nitroglycerine Works expose des tiges de cuivre argentées par la galvanoplastie et recouvertes à froid de caoutchouc dissous dans du naphte. Le naphte s'évapore facilement et il reste du caoutchouc pur qui n'a pas subi l'effet de la chaleur.

Gutta-percha et caoutchouc. — Nous avons parlé des câbles Siemens dans lesquels on place une couche extérieure de gutta-percha sur le fil déjà recouvert d'un ruban de caoutchouc.

L'India-Rubber, etc. (Silvertown Company), fabrique des câbles militaires présentant la disposition inverse : le fil de cuivre est d'abord recouvert de gutta-percha, puis de caoutchouc vulcanisé et enfin d'un ruban caoutchouté. On espère ainsi éviter l'altération de la gutta par l'air.

Huile de caoutchouc. — En distillant le caoutchouc vers 315° C., il passe un liquide extrêmement volatil, qui se décompose rapidement à l'air, et qui est un excellent dissolvant du caoutchouc et d'autres résines ; on l'emploie mélangé avec de l'alcool. Le résidu resté dans la cornue, dissous dans l'huile, forme un vernis très élastique. MM. Siemens et Halske (section allemande) emploient *l'huile de caoutchouc* dans la fabrication des câbles téléphoniques, câbles militaires et câbles pour lumière, de préférence à la paraffine. Le fil de cuivre est entouré de coton, préalablement desséché dans le vide à haute température, puis imprégné d'huile de caout-

chouc, et recouvert ensuite d'un tube en plomb ou d'une tresse.

Autres isolants. — La consommation toujours croissante de la gutta-percha et du caoutchouc a naturellement conduit à la recherche d'autres isolants plus économiques ou plus résistants aux diverses causes de destruction (oxydation, variations de température, attaques des insectes). Quelques-uns de ces isolants commencent à être employés sur une certaine échelle ; d'autres n'ont pas encore été soumis à des essais suivis, comme le produit de la distillation à feu nu de l'écorce de bouleau, que M. Mourlot (France) expose sous le nom de *gutta-percha française* et qu'il propose d'appliquer soit seul, soit combiné avec le caoutchouc ou la gutta-percha ordinaire. Citons encore des mélanges de cire, résine, paraffine, suif, goudron ou poix de Stockholm, indiqués comme propres les uns à la construction de câbles, les autres à enduire des guipages ; enfin l'emploi de matières vitreuses, en étirant le fil ou la masse vitreuse, ou en passant le fil à travers une solution vitreuse.

Paraffine et ozokérite, nigrite. — La paraffine est une des substances les plus stables que l'on connaisse ; c'est un des produits de la distillation de certaines espèces de houilles et de bitumes ; elle se trouve encore dans quelques variétés d'huile minérale ou de pétrole. On la rencontre à l'état natif et elle prend alors les noms de *cire fossile*, *ozokérite*, etc. Elle a un pouvoir isolant élevé, et a reçu plusieurs applications dans la télégraphie, notamment pour isoler les conducteurs aux points de jonction, pour protéger du contact de l'air les fils recouverts de gutta-percha ou de caoutchouc servant aux communications des appareils électriques (on place les fils dans

le socle, et on y coule la paraffine qui, en se refroidissant, les emprisonne dans un bloc solide), pour faire le papier dit *paraffiné*, employé comme diélectrique dans les condensateurs et les paratonnerres à plaques.

On fabrique des fils isolés destinés à la téléphonie, à la télégraphie militaire ou à la lumière électrique, en entourant le conducteur de coton bien épuré et desséché, que l'on enduit de paraffine; le tout est enfermé dans un tube en plomb, ou simplement recouvert d'une tresse. MM. Felten et Guilleaume (section allemande) exposent des fils de ce genre.

En allliant à la paraffine le caoutchouc ou la gutta-percha, on obtient des préparations pouvant servir d'enduits hydrofuges et même de matières isolantes (*). Cette incorporation des gommes dans la paraffine peut s'obtenir par la mastication. Le Dr Matthiessen a étudié la paraffine native ou ozokérite, et en particulier le résidu noir, ou *cire noire*, fourni par la distillation partielle de l'ozokérite. En chauffant cette cire noire avec la gutta-percha et le caoutchouc, il a obtenu des compositions très isolantes et d'une dureté convenable, mais qui deviennent vite cassantes Enfin, en 1875, MM. Field et Talling ont réussi, en mastiquant ensemble la cire noire et le caoutchouc, et opérant à la plus basse des températures nécessaires pour les amener à l'état plastique, à obtenir une substance très propre aux usages télégraphiques. D'après le professeur Abel, « les compositions de caoutchouc avec une très grande proportion d'ozokérite (jusqu'à 90 p. 100) ainsi obtenues, possèdent à un degré remarquable les propriétés du caoutchouc, quoique plus molles et plus plastiques. Elles ne deviennent

(*) Professeur Abel, discours cité.

pas cassantes par l'action prolongée du froid et semblent s'améliorer avec le temps sous le rapport de la flexibilité et de la dureté. Les essais électriques montrent que, comme isolement et capacité inductive, elles supportent la comparaison avec le caoutchouc et la gutta-percha, et on en tirera parti dans la télégraphie, surtout parce qu'il est très probable que le caoutchouc sera efficacement protégé contre l'altération par son incorporation intime avec la paraffine, qui est une substance éminemment stable. »

MM. L. Clark, Muirhead and Company (section anglaise) exposent sous le nom de *nigrite* une composition de caoutchouc et de cire noire, obtenue à basse température, d'après le procédé Field et Talling. Ils présentent quelques spécimens de fils recouverts de cette substance, en particulier un double fil téléphonique fabriqué d'une seule pièce et consistant en un ruban plat présentant sur chaque bord un renflement au centre duquel est logé le conducteur. D'après les exposants, le prix des fils en nigrite serait moitié moindre des fils similaires en gutta-percha, leur isolement beaucoup plus grand et leur capacité inductive notablement inférieure. La matière serait mécaniquement supérieure à la gutta-percha et moins influencée que le caoutchouc lui-même par la chaleur. Ces résultats seraient corroborés par une expérience de cinq ans sur des câbles aériens et des câbles de torpilles.

On a récemment fabriqué des âmes de câbles sous-marins avec un diélectrique désigné sous le nom de *Henleys patent ozokerited India-Rubber*. La spécification de ces âmes est la suivante : « Le conducteur est un toron de sept fils de cuivre, pesant 107 livres ($48^{kg},5$) par mille marin avant l'étamage. Le diélectrique, pesant 140 livres ($63^{kg},5$) par mille marin, est

composé de 21 livres de caoutchouc pur, 35 livres de composition grise ou séparatrice, 57 livres de composition noire et 27 livres d'ozokérite. L'âme est recouverte d'une couche de feutre enroulé et passé ensuite à l'ozokérite. Après vingt-quatre heures d'immersion dans l'eau à 24° C., l'isolement ne doit pas être inférieur à 5.000 meghoms par mille marin après cinq minutes d'électrisation. »

Produits de l'oxydation des huiles, kérite. — On sait que les huiles siccatives ou rendues telles en les faisant bouillir avec un oxyde métallique, la litharge en général, déposent en se desséchant une couche de vernis. En rendant l'huile épaisse par une ébullition prolongée, on obtient une gomme artificielle utilisée dans la construction de certains instruments de chirurgie.

Les huiles siccatives, en particulier les huiles de lin, de noix, de graine de coton, exposées à une haute température, laissent un résidu qui, par l'ébullition avec de l'eau additionnée d'acide azotique, fournit un produit très élastique, que l'on désigne quelquefois sous le nom de *caoutchouc des huiles.* On peut l'employer à enduire des guipages de coton, et l'appliquer même directement sur le fil conducteur, soit nu, soit recouvert au préalable d'une couche de caoutchouc.

La *kérite* que présentent MM. Hutchinson et Cᵉ (section française) paraît être un mélange du produit de l'oxydation des huiles avec du caoutchouc vulcanisé et un certain nombre d'autres matières telles que cire ou ozokérite, silice, etc. La présence du soufre nécessite l'emploi de conducteurs étamés. Cette substance est donnée par l'inventeur, M. Day, de New-York, comme jouissant des propriétés suivantes : « Elle peut supporter sans inconvénient une température longtemps soutenue

de 95° C., n'est affectée ni par une exposition indéfinie dans l'atmosphère, ni par les variations de climat si marquées aux États-Unis; les acides n'agissent sur elle que très lentement et ne l'oxydent qu'à la surface; elle résiste à l'action du soleil, et, en Égypte, a supporté sans altération pendant tout un été, dans le désert, une température de 56° C. Aux États-Unis, après avoir été enterrée pendant douze ans, elle n'a présenté aucune espèce d'altération et M. Prescott constate en 1874 que des fils enduits de kérite, et sans protection d'aucune espèce, fonctionnent depuis 1869 dans le tunnel sous-fluvial de Chicago où ils sont soumis à une épreuve très rude ; car, dans une partie du tunnel, de l'eau saturée de chaux tombe constamment goutte à goutte sur le fil, tandis que sur d'autres points, le fil est alternativement humide et sec. Dans l'eau, la kérite se conserve parfaitement, et elle n'est pas attaquée par les tarets et autres animalcules. Enfin, le professeur Sillimann constate qu'elle résiste à l'action dissolvante et destructive des agents chimiques les plus puissants, y compris l'ozone, et qu'elle conserve toujours les propriétés physiques qu'on exige d'une matière isolante : inaltérabilité aux températures extrêmes, flexibilité unie à la fermeté. »

Des essais électriques faits en France sur quelques échantillons ont donné les résultats suivants : la capacité électro-statique de la kérite était de 1,25 à 1,70 celle de la gutta-percha ; et son isolement environ la moitié de celui de la gutta, aux températures comprises entre 20 et 33° C. A 50° C., l'isolement d'un câble en kérite n'était que le 1/5 de celui d'un câble similaire en gutta. Mais, malgré cette diminution bien plus grande dans l'isolement, la kérite n'avait pas augmenté de volume comme la gutta, et n'était pas devenue pâteuse, en sorte qu'elle

peut en réalité être employée dans des conditions de température élevée où l'usage de la gutta serait impossible. L'action des acides, des bases et des principaux sels est à peu près la même sur les deux substances ; les huiles de houille, l'huile de térébenthine et le gaz d'éclairage paraissent agir un peu plus sur la kérite, qui, d'autre part, semble mieux résister à l'action de l'air. Enfin, au point de vue mécanique, les fils recouverts en kérite offrent plus de résistance à l'écrasement et plus d'élasticité que ceux en gutta. La kérite semble donc pouvoir être utilement employée dans la fabrication des câbles militaires, câbles aériens, etc.

Câbles Berthoud, Borel et Cᵉ. — En 1879, MM. Berthoud, Borel et Cᵉ ont fabriqué à Cortaillod (Suisse) des câbles dont le diélectrique était une matière sulfureuse ou résineuse et le conducteur un fil de plomb ; un tube de plomb formait l'enveloppe protectrice. On prenait un tube de plomb, au centre duquel on plaçait une tige de même métal : l'intervalle était rempli par du soufre ou de la résine liquide ; on passait ensuite le tout à la filière, et, dans cette opération, le rapport des épaisseurs des diverses parties n'est pas altéré. Les essais ont donné du bons résultats sous le rapport de la capacité électro-statique et de l'isolement, mais naturellement le conducteur offrait une grande résistance électrique.

Actuellement, le cuivre est substitué au fil de plomb : le toron de fils de cuivre est entouré de plusieurs couches de coton écru et préalablement plongé dans un bain de paraffine à 180° C., pour le débarrasser de l'humidité et de l'air qu'il peut contenir. La mise sous plomb se fait par un procédé nouveau. Le piston d'une presse puissante force un lingot de plomb à passer par un trou ayant le diamètre extérieur du câble, et une broche conique

placée au centre ménage l'espace annulaire entre le toron et l'enveloppe de plomb, espace que l'on remplit de colophane additionnée d'un peu de camphre pour la rendre plus plastique. L'enveloppe isolante consiste donc en coton saturé de paraffine et en colophane avec addition de camphre.

Les expériences faites sur ces câbles donnent des isolements considérables, même à des températures assez élevées, et des capacités relativement faibles, mais croissant rapidement avec la température.

Ainsi, un câble à un conducteur formé de sept brins de $0^{mm},5$ et trois couches de coton, aurait donné les résultats suivants, le câble étant plongé à chaque fois une demi-heure dans l'eau avant de prendre la déviation au bout de la première minute.

Température.	Résistance d'isolement par kilomètre au bout de 1 minute.		Capacité par kilomètre.	
—	—		—	
12°,8	15.700	megohms.	0,174	microfarad.
15°	11.600	—	0,180	—
18°	9.200	—	0,183	—
20°	8.700	—	0,177	—
24°	6.650	—	0,178	—
28°	6.250	—	0,178	—
32°	4.070	—	0,188	—
36°	3.000	—	0,199	—
40°	2.360	—	0,208	—
42°,5	2.170	—	0,208	—

Comme terme de comparaison, les câbles ordinaires des lignes souterraines doivent avoir un isolement minimum d'environ 500 megohms à 24° C. et une capacité électro-statique d'environ 0,20. Mais tandis que cette capacité varie peu avec la température, celle des câbles Berthoud augmente dans les mêmes circonstances.

D'autres échantillons ont donné des résultats assez différents aux températures élevées. Ainsi :

Température.	Isolement kilométrique.	Capacité kilométrique.
—	—	—
18°,5	14.300	0,150
27°	6.400	0,153
34°,5	650	0,204
42°	11,6	0,222
47°	5,4	0,340

Enfin le conducteur central d'un câble à sept conducteurs a donné :

18°,4	6.700	0,118
23°,5	1.100	0,118
27°	147	0,118
34°,5	98	0,250

La SOCIÉTÉ ANONYME DES CABLES ÉLECTRIQUES (système Berthoud, Borel et compagnie), qui possède aujourd'hui deux usines, l'une à Paris, l'autre à Cortaillod, expose la presse hydraulique servant à la fabrication de câbles, avec les chaudières et la pompe de compression. La Société présente en outre des échantillons de ses câbles sous-marins et principalement de câbles souterrains pour télégraphie, téléphonie, lumière, etc. Pour la téléphonie, elle propose d'employer comme fil de retour le tuyau de plomb, qui dans ce système est indispensable pour maintenir la résine autour du conducteur. Pour les câbles souterrains à poser en galerie, ce tuyau de plomb est cannelé, et enfermé dans un second tuyau plus épais que le premier, et séparé de lui par une couche de brai gras. Ce brai serait un préservatif contre l'humidité et de plus éloignerait les rongeurs qui détériorent quelquefois les enveloppes de plomb.

On n'a pas encore de données expérimentales sur la durée de ces câbles.

Câbles du système Brooks. — Le système de lignes souterraines de M. David Brooks, de Philadelphie, figure

dans l'exposition de THE INDIA-RUBBER, GUTTA-PERCHA AND TELEGRAPHS WORKS (Silvertown), section anglaise.

M. Brooks avait eu d'abord l'idée de placer les câbles souterrains dans l'eau, pour préserver la gutta-percha de l'oxydation; puis il songea à remplacer la gutta par une matière plus économique. Il essaya la résine, la poix, divers hydrocarbures, goudrons et asphaltes; des défauts ne tardèrent pas à se manifester dans ces fils placés sous terre. Il mit dans l'eau des fils enduits de cire de paraffine, l'humidité pénétra par les fissures de la paraffine. Il eut alors l'idée de remplir un tuyau avec une huile, maintenue sous pression, de telle sorte que si une fuite se déclarait, ce serait l'huile qui sortirait du tuyau et non pas l'eau qui pénétrerait. Les premiers câbles de son système, employés par la Western-Union pour lignes téléphoniques, se composaient de fils de cuivre entourés de coton desséché ou de jute, pour les séparer les uns des autres, et enfermés dans des tuyaux en fer de 3 centimètres de diamètre intérieur, remplis d'huile de paraffine ou de pétrole épuré. Ces fils de cuivre étaient au nombre de 42 et même de 84 dans certains câbles téléphoniques : on aurait vérifié ainsi que l'influence mutuelle des fils d'un même câble est d'autant moindre que les fils sont plus fins et plus nombreux. De plus, le câble ayant un diamètre peu considérable peut être placé, sans nuire à l'aspect, le long des corniches des toits dans les villes.

L'isolement et la capacité électro-statique dépendent de la distance mutuelle des fils et de l'épaisseur du revêtement. Suivant M. Brooks, avec de l'huile de paraffine bien purifiée et surtout exempte d'acides et d'eau, on peut obtenir des isolements élevés, par exemple de 300 à 400 megohms par kilomètre à 38° C. Mais les tuyaux

en fer les mieux alésés s'oxydent intérieurement, surtout s'il y a des acides dans l'huile; l'huile se charge alors de rouille et perd ses qualités isolantes, ce qui oblige à la changer. Il suffirait de faire une seule fois ce changement, quelque temps après le premier établissement de la ligne.

On a cherché à éviter cette oxydation du tuyau par un revêtement intérieur de silicate de soude ou d'un vernis à la gomme laque.

La capacité électro-statique serait assez faible, et l'électrification serait très lente.

Dans le système exposé, chaque conducteur est recouvert de jute pour éviter le contact, les conducteurs en nombre voulu sont câblés par bouts de 4 ou 500 mètres environ et tirés dans des conduits en fer que l'on remplit d'huile de pétrole, préalablement dépouillée des acides et de l'eau qu'elle contient (*). A côté du câble, se trouve un flacon contenant cette huile, qui porte la mention : *Oléonaphte*, ou huile minérale russe, chez Ragosine (11, rue de la Tour-des-Dames, Paris). La conduite est composée de tubes de 4 mètres de longueur, taraudés à leurs extrémités et réunis bout à bout à l'aide de manchons portant des pas de vis légèrement coniques, dont le filet est rempli de gomme laque pour assurer l'étanchéité. Tous les 400 ou 500 mètres, on intercale des chambres de soudure, où s'effectuent les jonctions des fils : ces chambres sont remplies d'huile et hermétiquement fermées par des bouchons à vis.

L'huile de pétrole est soumise à l'ébullition dans une chaudière découverte et établie en plein air; puis elle est introduite dans les tubes à l'aide d'un réservoir placé

(*) Pour chasser l'humidité, on plonge le câble dans un bain d'huile, au moment de l'installation, et l'on chauffe à l'ébullition.

au point le plus élevé de la ligne : ce réservoir est toujours alimenté pour réparer les pertes causées par les fuites accidentelles. Le raccordement des conducteurs avec les appareils se fait par un fil recouvert de caoutchouc soudé à chaque conducteur : ces fils traversent une chambre remplie de paraffine solide, qui protège les soudures et empêche l'huile de s'échapper accidentellement.

Une ligne d'essai a été construite à Bruges en septembre 1879 ; elle avait une longueur de 375 mètres et comprenait vingt-deux conducteurs, dont quatre destinés à des transmissions téléphoniques étaient cordés deux à deux ; les dix-huit autres, reliés bout à bout de manière à former un conducteur unique de 6.750 mètres, ont donné les résultats suivants, après dix minutes d'électrification.

Date des essais.	Température.	Résistance d'isolement par kilomètre.	Capacité électro-statique par kilomètre.
—	—	—	—
4 Octobre 1879. . . .	16°,5	531 megohms.	0,014 microfarad.
7 Novembre 1879. . .	11°,5	325 —	0,013 —
14 —	7°	857 —	0,012 —
23 —	2°	1.485 —	0,012 —
3 Janvier 1880. . . .	7°,5	1.324 —	0,011 —
17 —	1°	1.323 —	0,012 —
23 —	3°	2.056 —	0,012 —
13 Février 1880. . . .	6°	1.366 —	0,011 —
21 —	10°	784 —	0,012 —
28 Avril 1880.	10°	904 —	0,013 —
14 Mai 1880.	24°	290 —	0,011 —
28 —	15° (pluie)	276 —	0,015 —
19 Juin 1880.	23°	211 —	0,017 —
10 Juillet 1880. . . .	17° (pluie)	237 —	0,025 —
30 —	20°	73 —	0,018 —
27 Août 1880.	24°	209 —	0,017 —
13 Septembre 1880. .	19°	249 —	0,015 —

Après une minute d'électrification, le 20 septembre 1880, on obtint :

Date des essais.	Température.	Résistance d'isolement par kilomètre.	Capacité électro-statique par kilomètre.
—	—	—	—
	14° (pluie)	15(?) megohms.	0,015 microfarad.

L'huile de paraffine fut renouvelée le 24, et l'on eut les résultats ci-après, au bout d'une minute :

1er Octobre 1880. . .	15°	231 megohms.	0,014 microfarad.
15 —	11°	341 —	0,0122 —

Les conducteurs essayés séparément le 15 janvier 1881, à 3° C., ont donné, après une minute, des résistances d'isolement comprises entre 208 et 266, et des capacités comprises entre 0,117 et 0,135.

En octobre 1879, une ligne d'essai de 500 mètres de long à vingt fils fut établie à Versailles. L'isolement kilométrique au bout d'une minute varia de 80 à 150 megohms et la capacité était en moyenne de 0,2 microfarad. En mars 1880, M. Brooks constata que l'isolement était de 135 megohms au bout d'une minute et de 250 au bout de cinq minutes d'électrification. En mai de la même année, après cinq minutes, l'isolement des divers fils fut trouvé compris entre 180 et 250, et la capacité varia entre 0,087 et 0,109, soit en moyenne un isolement de 223 et une capacité de 0,106 environ.

En 1881, le Post-Office anglais a fait construire, entre Waterloo et Clapham, une ligne divisée en deux sections: 'une de 4.000 mètres environ composée de trente fils de cuivre de $1^{mm},25$, l'autre de 2.000 mètres comprenant quarante fils du même diamètre. Les tuyaux en fer ont partout 31 millimètres de diamètre intérieur, mais la couche de jute qui entoure les fils de la seconde section est plus petite que celle qui entoure les fils de la première. L'isolement de la section à quarante fils était de 4 à 5 megonms par kilomètre et sa capacité de 0,30 mi-

crofarad environ; l'isolement de la section à trente fils était de 5,5 megohms et la capacité de 0,20. Ces isolements sont faibles; mais cela tient à ce qu'on a employé de l'huile de pétrole de qualité très commune, sauf à la remplacer plus tard par de l'huile épurée, si l'on veut un isolement plus élevé.

Les exposants font remarquer d'ailleurs qu'un isolement très élevé n'est pas le criterium d'une ligne bonne et durable. On a vu que, pour la gutta-percha, par exemple, les matières de qualité inférieure et de peu de durée ont des isolements considérables; si l'on prend deux fils isolés fabriqués à la même époque, et que l'un donne un isolement modéré se maintenant sous l'action prolongée d'une forte pile, et l'autre un isolement extrêmement élevé, on peut présumer que le diélectrique du second est de qualité inférieure et que ses chances de durée sont relativement petites. D'autre part, il est préférable, au point de vue de la vitesse de transmission, que l'isolement ne soit pas trop grand, à la condition qu'il soit suffisant pour laisser arriver une proportion convenable du courant émis et que la faiblesse de l'isolement tienne à la *nature* et non pas à un *défaut* de l'isolant (*).

Sur la première section, on a pu correspondre téléphoniquement par un seul des fils, sans être trop gêné par l'induction des autres fils.

Un téléphone placé dans le circuit de deux des fils de la ligne totale ne rendait aucun son, bien qu'on travaillât avec de forts courants par l'appareil automatique de Wheatstone sur un fil voisin. Les deux fils bouclés n'étaient pas tordus ensemble, mais pris au hasard. Ce

(*) Car si elle tenait à un défaut, la transmission serait troublée par les variations continuelles de la résistance du défaut et le conducteur serait mis promptement hors de service.

résultat est dû sans doute en grande partie à ce que les positions relatives des divers circuits changent continuellement sur toute la longueur. On aurait vérifié ce fait, observé déjà en Amérique, que quand les divers fils sont desservis individuellement par un téléphone, l'induction mutuelle est d'autant moins gênante que les fils sont plus nombreux.

La première section du câble a fonctionné pendant plusieurs mois sans être protégée par des paratonnerres, et la foudre n'a amené aucune interruption, bien que plusieurs orages aient éclaté pendant ce temps. Suivant M. Brooks, si la foudre produisait une perte à la terre dans le câble, le défaut disparaîtrait par la simple circulation de l'huile; car la matière carbonisée, qui produirait le défaut et qui est le résultat de la décharge électrique, se disperserait dans le mouvement de l'huile, mouvement facilité d'ailleurs par les variations continuelles de la température.

On n'a pas réussi à établir une table des variations de l'isolement avec la température : les coefficients changent avec la qualité de l'huile et celle du revêtement de jute. Les variations seraient d'autant plus grandes que l'huile est de meilleure qualité, et le coefficient de variation pour l'huile et le jute combinés serait environ la moitié de celui pour l'huile seule.

Fils recouverts et câbles divers. — Les fils recouverts de coton pour bobines d'induction, machines dynamo-électriques, etc., de la maison Bonis (France), possèdent un diamètre d'une uniformité remarquable, et permettant par conséquent un enroulement très régulier. Il en est de même de ses fils recouverts de soie. La même maison expose encore des câbles pour lumière, dont le conducteur composé de quarante-huit fils de cuivre de

1mm,2 est revêtu d'une enveloppe de filin de chanvre et de deux rubans goudronnés enroulés en sens inverse; des câbles pour suspension de lampes électriques composés d'une corde centrale en chanvre entourée de torons de fils de cuivre; des lames de cuivre de dix millimètres sur 0mm,5 recouvertes d'un ruban et employées comme conducteurs de lumière dans les appartements; des câbles sous plomb pour sonneries électriques, etc., et des câbles téléphoniques sur lesquels nous reviendrons.

La vitrine de MM. ALAMAGNY et ORIOL (Saint-Chamond, France) contient des fils isolés pour télégraphie, téléphonie, sonneries, recouverts en tressage de soie, coton, laine, etc., et des câbles sous plomb de divers modèles.

M. BARBIER (France) expose des fils isolés par le procédé Barbier et Lartigue : ce sont des fils de cuivre recouverts d'un guipage formé de déchets de soie et enduit d'une composition isolante (dans laquelle entrent du collodion et du brai de Norvège), qui ne se ramollit pas par la chaleur. L'isolement de ces fils est assez faible dans l'eau, mais suffisant dans l'air.

Les fils et câbles de MM. BILORET et MORA, BRÉGUET, CHARLOT, etc., n'offrent rien de particulier. Nous rappellerons pour mémoire les câbles sous enveloppe, sous plomb ou armés, avec diélectrique en gutta-percha ou caoutchouc, des maisons MÉNIER, RATTIER, et de L'USINE DE PERSAN-BEAUMONT.

La fabrication des tuyaux de plomb pour enveloppes de câbles est représentée par MM. LAVEISSIÈRE, LÉTRANGE et HUBIN. Ce dernier expose aussi des tuyaux en étain, qui résistent mieux au choc que ceux en plomb, mais qui sont d'un prix beaucoup plus élevé.

Dans le câble léger pour télégraphie militaire de M. MANGENOT, le conducteur est formé d'un toron de

deux fils de cuivre et d'un fil d'acier; il est entouré de fils de chanvre paraffinés, puis d'une gaine de carbonate de chaux en poudre, et enfin d'une enveloppe de coton enduit de brai liquide. Les joints s'opèrent en tordant les conducteurs et les introduisant dans un tube fait d'une gomme semblable à celle employée dans les instruments de chirurgie.

Parmi les câbles militaires de la section anglaise, on remarque chez MM. Siemens frères, un câble très flexible revêtu de deux couches en sens contraire de fils de chanvre appliqués sous forte tension, le tout enveloppé de bandes de cuivre très serrées enroulées en spirale, de manière que chaque tour recouvre une partie du tour précédent. Ce modèle, d'une grande flexibilité, avait été proposé en 1862 comme câble sous-marin et essayé entre Oran et Carthagène. Nous avons déjà parlé des câbles militaires de l'India-Rubber, qui expose également des câbles en caoutchouc pour torpilles et pour lumière.

Dans la section allemande, MM. Siemens et Halske ont des câbles pour lumière à gros conducteur de cuivre recouverts de coton sec imprégné d'huile de caoutchouc, puis entourés de plomb; des câbles militaires isolés par un enduit de collodion ou d'huile de caoutchouc, possédant une grande souplesse et sans tendance à former des coques, à cause de leur revêtement en guipage tricoté, lequel renferme le fil de cuivre de retour tressé dans l'enveloppe même; d'autres très résistants, tout en étant très flexibles, armés de fils d'acier ou de cordelettes de ces mêmes fils.

MM. Felten et Guilleaume présentent des câbles souterrains, fluviaux et sous-marins; des câbles pour torpilles, et des fils isolés pour lumière électrique et téléphonie.

Dans la section italienne, M. Serravalle, de Messine, effectue automatiquement le revêtement en soie des fils destinés aux électro-aimants : le mouvement est donné par un moteur électrique. Lorsque le fil de soie se casse ou que la bobine est épuisée, le moteur s'arrête de lui-même et fait fonctionner une sonnerie-avertisseur.

Dans la section de l'Amérique du Nord, se trouvent divers spécimens de conducteurs pour lumière employés par M. Edison dans son système de canalisation de l'électricité. Deux tiges de cuivre, dont la section est un segment circulaire, sont noyées dans un isolant bon marché et enfermées dans un tube de fer revêtu de rubans goudronnés pour le préserver de l'oxydation. Les dimensions varient suivant que les conducteurs sont destinés aux grandes artères ou aux embranchements. M. Edison présente aussi un fil recouvert d'une enveloppe incombustible et inattaquable par les rongeurs.

M. Parod (France) propose de son côté une canalisation de l'électricité consistant en un condensateur composé d'un tuyau métallique recouvert d'une enveloppe isolante de caoutchouc et d'une feuille d'étain formant l'autre armature. Chacune des armatures est en communication avec une des électrodes de la source électrique.

Fils et câbles téléphoniques sans induction. — Le seul moyen complètement efficace d'annuler sur un circuit téléphonique les effets de l'induction d'un fil voisin est de constituer le fil téléphonique de deux fils, l'un d'aller, l'autre de retour, situés à la même distance du courant inducteur, ce que l'on réalise sensiblement en cordant ensemble les deux fils. De là l'emploi de câbles téléphoniques renfermant un certain nombre de doubles fils tordus.

Pour appliquer cette disposition sur une ligne aérienne,

M. Hughes a proposé de placer sur les poteaux les deux fils voisins destinés à un circuit téléphonique de telle sorte qu'ils soient alternativement l'un au-dessus de 'autre, puis l'un à côté de l'autre ou répétant successivement les quatre positions relatives $\left(\frac{A}{B}, AB, \frac{B}{A}, BA\right)$; de cette façon, la distance moyenne au fil inducteur reste la même. On retrouve la même idée dans les câbles téléphoniques de MM. Siemens et Halske. Un de ces câbles comprend sept conducteurs, pour quatre lignes téléphoniques sans induction, constituées l'une par le conducteur central, et les trois autres par un double conducteur; tous les cent mètres, la machine change elle-même l'ordre de ces derniers pour imiter la disposition dont nous venons de parler. On a signalé un artifice analogue dans les câbles téléphoniques de Brooks.

Dans l'induction mutuelle des fils, on distingue l'induction électrostatique due à ce que l'un des fils voisins forme par rapport à l'autre l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, et l'induction électro-dynamique ou électro-magnétique produite par le passage du courant dans le fil voisin. La première, qui est la plus grave, peut être éliminée en entourant chaque conducteur d'une enveloppe métallique (feuille d'étain, fil de fer, etc.) mise en communication avec la terre. On a pensé qu'on pourrait éliminer l'induction électro-dynamique, en faisant cette enveloppe métallique en *fer*, de façon à avoir un écran magnifique, mais il faudrait que cette enveloppe eût une épaisseur considérable pour que les lignes de force ne la traversent pas. Il est préférable que l'enveloppe métallique soit employée comme fil de retour et isolée comme le conducteur lui-même, et alors peu importe le métal qui la constitue : le tube de plomb

qui protège chaque conducteur séparément dans les câbles Berthoud-Borel peut servir à cet usage; l'induction est ainsi affaibli, sans être tout à fait éliminée comme dans le cas de deux conducteurs cordés. Le câble téléphonique Gower, exposé par Mme Bonis, se compose d'un fil de cuivre de 0mm,8, recouvert d'une couche de gutta-percha de 3 millimètres d'épaisseur et de deux rubans de coton goudronnés; par-dessus est enroulé en spirale un fil d'acier de 2mm,5 pouvant servir de fil de retour ou de fil de terre. La maison Hoosac Tunnel trinitroglycérine Works (États-Unis) présente, comme câble sans induction, un fil recouvert enfermé dans une feuille de fer galvanisé, courbé autour du fil.

Si l'on a deux conduites souterraines voisines, toutes les deux en tuyaux de fer, et contenant des câbles à plusieurs conducteurs, si l'une sert à la transmission de courants intenses comme ceux de la lumière électrique, les fils de l'autre sont traversés par des courants induits, ce qui tient à ce que l'induction électrostatique seule est éliminée par la communication du tuyau avec la terre. De là la nécessité d'éloigner les lignes télégraphiques souterraines des canalisations de lumière, à moins d'exiger que chaque conducteur de lumière soit individuellement entouré d'une enveloppe métallique isolée du conducteur et de la terre et constituant son propre fil de retour.

L'emploi d'un fil de retour a l'inconvénient de doubler la résistance de la ligne. Il est préférable, comme l'indique M. Hughes, de traiter chacun des fils du circuit comme une ligne indépendante ayant sa pile propre et sa terre propre. Le transmetteur est alors disposé de façon à envoyer un courant positif sur une des lignes et un courant négatif sur l'autre; si ces courants sont égaux,

leurs effets s'équilibrent en ce qui concerne l'induction des fils voisins. L'électro-aimant récepteur est enroulé différentiellement, ou mieux composé de deux fils distincts enroulés ensemble : pour l'un l'entrée est reliée à la ligne et la sortie à la terre; pour l'autre, c'est l'inverse. Le courant induit par un fil voisin, ayant la même direction dans les deux fils ne produira aucun effet sur l'électro-aimant, tandis que les courants transmis étant de sens contraires ajouteront leurs effets. Le double fil aura alors une résistance moitié de celle du fil simple et sera à l'abri de toute influence étrangère, courants de terre, induction latérale des fils voisins, etc. M. BRASSEUR (Belgique) a appliqué cette disposition à l'installation de fils téléphoniques.

On peut enfin compenser les effets de l'induction mutuelle par des arrangements de poste, sans avoir recours à un double fil. Signalons le procédé par compensation pour deux fils de M. Wilson, de Chicago (*Journal de la Société des ingénieurs télégraphiques*, 1880) et celui de M. Hughes applicable à un nombre quelconque de fils (même journal, 1879).

Comme câbles téléphoniques de poste, on emploie encore deux ressorts en fil de fer, superposés et concentriques, séparés par de la soie ou du coton (Mme Ve BONIS), formant un cordant unique (les deux fils se séparent seulement aux extrémités pour être attachés aux bornes de l'instrument); ou un fil de cuivre entouré d'un cordonnet en fil à coudre ordinaire, recouvert d'une lame d'or servant de fil de retour (Ve Bonis, Latimer Clark, Muirhead and Co).

(*A suivre.*) J. RAYNAUD.

REVUE

DES

DIVERSES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'OHM.

(Suite.)

UNITÉS ÉLECTRIQUES

18. Les grandeurs électriques principales sont au nombre de cinq : la quantité d'électricité Q, l'intensité du courant I, la force électromotrice ou différence de potentiel E, la résistance R et la capacité électro-statique S.

Il existe entre ces cinq grandeurs deux relations élémentaires : la première est la loi d'Ohm qui donne l'intensité I d'un courant en fonction de la résistance du conducteur qu'il traverse et de la force électromotrice, ou différence de potentiel, aux deux extrémités de ce conducteur :

$$I = \frac{E}{R}. \tag{1}$$

La seconde exprime la charge Q d'un condensateur en fonction de sa capacité électro-statique S et de la différence de potentiel E des deux armatures :

$$Q = ES. \tag{2}$$

Il est inutile d'introduire aucun coefficient dans ces formules, puisqu'il rentre dans les valeurs de R et de S, qui dépendent non seulement de la forme géométrique

des conducteurs ou condensateurs, mais encore de la matière dont ils sont formés.

19. La quantité d'électricité Q qui traverse, pendant un intervalle de temps t, la section d'un condensateur parcouru par un courant constant d'intensité I est proportionnelle à It; d'où

$$Q = KIt.$$

On peut faire le coefficient K égal à l'unité et poser

$$(3) \qquad Q = It.$$

Remarquons que la suppression du coefficient K est naturelle et exprime que si deux quantités It et Q sont représentées par les mêmes nombres elles produiront un même effet, que, par exemple, en traversant une dissolution saline elles produisent deux actions chimiques identiques.

20. Ces trois relations sont les seules dont on ait à tenir compte si l'on veut étudier isolément les phénomènes électriques, et, dans ce cas, on peut choisir à volonté deux unités arbitraires et en déduire les trois autres par l'application des formules précédentes.

C'est ainsi qu'on s'en est contenté pendant longtemps. En Allemagne, par exemple, on avait adopté pour unité de résistance celle d'une colonne de mercure d'un millimètre carré de section et d'un mètre de hauteur (unité Pouillet, Marié-Davy, Siemens), et pour unité de force électromotrice celle d'un élément Daniell. L'unité d'intensité est alors celle d'un courant produit par un élément Daniell dans un circuit ayant pour résistance totale l'unité de résistance.

On a aussi souvent adopté pour unités l'unité de résistance et l'unité d'intensité, en définissant cette dernière par les propriétés électro-chimiques du courant : c'est,

par exemple, celle d'un courant qui en traversant l'eau acidulée dégage en vingt-quatre heures 1 gramme d'hydrogène.

21. Pour avoir un système d'unités absolues, c'est-à-dire ne comportant d'autres notions élémentaires que celles de la longueur, de la masse et du temps, il faut établir deux autres relations entre les grandeurs électriques et les grandeurs géométriques ou mécaniques.

Une première est fournie par la loi de Joule : la quantité de chaleur développée par un courant dans un conducteur est proportionnelle à la résistance de ce conducteur, au carré de l'intensité de ce courant et au temps pendant lequel il passe. Cette quantité de chaleur est elle-même équivalente à une quantité W de travail, ce qui permet de poser

$$W = HI^2Rt.$$

H étant un coefficient numérique indépendant des unités adoptées, qu'on peut faire égal à l'unité, ce qui conduit à la relation :

$$W = I^2Rt. \tag{4}$$

Cette formule peut être mise, en tenant compte de la loi d'Ohm, $I = \frac{E}{R}$, sous une des formes suivantes :

$$W = \frac{E^2t}{R},$$

$$W = EIt,$$

ou, en remplaçant It par la quantité d'électricité Q équivalente :

$$W = EQ.$$

22. Il existe trois autres relations entre les unités électriques et les unités de force et de longueur : la première est la loi de Coulomb qui se rapporte aux

actions électro-statiques, la seconde celle d'Ampère sur les phénomènes électro-dynamiques, et la troisième celle que Laplace a déduite des expériences de Biot et Savart sur les actions électro-magnétiques. L'application de ces trois relations conduit à trois systèmes d'unités, dont deux se confondent en un seul.

23. *Unités électro-statiques.* — On sait que la loi de Coulomb consiste en ce que deux quantités d'électricité en présence Q et Q′ situées à une distance r, se repoussent avec une force F, qui est proportionnelle au produit QQ′ et en raison inverse du carré de la distance r. On peut donc poser, en représentant par k un coefficient :

$$F = k\frac{QQ'}{r^2}.$$

L'expérience a démontré que le coefficient k varie avec la nature du milieu qui sépare les masses électriques Q et Q′; mais il paraît très sensiblement constant lorsque ce milieu est un gaz quelconque, ou le vide : si on le suppose égal à l'unité, on a :

$$F = \frac{QQ'}{r^2},$$

ou, si les deux masses Q et Q′ sont égales :

$$F = \frac{Q^2}{r^2}. \qquad (5)$$

En partant de cette relation, on déduit pour la valeur de la quantité d'électricité qui repousse une égale quantité à la distance r :

$$Q = r\sqrt{F}.$$

Si r est égal à l'unité de longueur (L) et F à l'unité de force (F), on a l'unité de quantité (Q) dans le système électro-statique, $(Q) = \left(LF^{\frac{1}{2}}\right)$, dont la grandeur dépend

de l'unité de longueur et de l'unité de force. En remplaçant (F) par ses dimensions (LMT^{-2}), on a celles de l'unité de quantité :

$$(Q) = \left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}\right).$$

23. Les autres unités électriques se déduisent de la relation $F = \frac{Q^2}{r^2}$ et des équations (1), (2), (3) et (4).

L'intensité d'un courant est donnée par l'équation (3) : $I = \frac{Q}{t}$. Si $Q = 1$ et $T = 1$ on a l'unité d'intensité, c'est celle du courant produit par l'unité de quantité (Q) en traversant la section d'un conducteur pendant l'unité de temps (T). On a pour les dimensions de (I) : $(I) = \left(\frac{Q}{T}\right)$, ou en remplaçant l'unité (Q) par ses propres dimensions :

$$(I) = \left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right).$$

De la loi de Joule (4), $W = I^2 Rt$, on déduit la résistance R du conducteur dans lequel le courant I développe une quantité de chaleur équivalente au travail W.

Si W, I et T sont égaux aux unités de travail et d'intensité et de temps, on a l'unité de résistance (R); c'est celle du conducteur dans lequel l'unité d'intensité développe pendant l'unité de temps une quantité de chaleur équivalente à l'unité de travail; ses dimensions se déduisent de la relation $R = \frac{W}{I^2 t}$ en remplaçant W et I par leurs propres dimensions (L^2MT^{-2}), $\left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right)$ et t par l'unité de temps T, ce qui donne

$$(R) = (L^{-1}T).$$

Pour la force électromotrice E on a, d'après l'équa-

tion (1) $E = RI$, qui donne pour $R = 1$ et $I = 1$ l'unité de force électromotrice dont les dimensions sont $(E) = (RI)$ ou

$$(E) = \left(L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}\right).$$

Enfin l'équation (2) donne la capacité électro-statique d'un condensateur $S = \frac{Q}{E}$ lorsqu'on connaît sa charge Q et la différence de potentiel des deux armatures. L'unité a pour dimension $(S) = \left(\frac{Q}{E}\right)$, ou

$$(S) = (L).$$

La capacité électro-statique est donc représentée par une longueur.

24. *Unités électro-dynamiques.* — Le second système d'unités a pour point de départ la loi d'Ampère, qui donne la force élémentaire dF avec laquelle s'attirent deux éléments de courant Ids et $I'ds'$ suivant la ligne qui joint leurs centres. Cette force a pour expression

$$dF = hII' \frac{dsds'}{l^2} (2 \cos \omega - 3 \cos \alpha \cos \alpha'),$$

l étant la distance des deux éléments ds et ds', ω l'angle qu'ils forment entre eux, α et α' les angles qu'ils forment l'un et l'autre avec la ligne qui joint leurs centres et h une constante.

On obtient le système des unités électro-dynamiques en faisant dans cette équation $h = 1$; elle devient :

$$(6) \qquad dF = II' \frac{dsds'}{l^2} (2 \cos \omega - 3 \cos \alpha \cos \alpha').$$

Les unités des cinq grandeurs électriques principales se déduisent de cette relation et des quatre précédentes (1), (2), (3) et (4) communes aux trois systèmes.

Le rapport $\frac{ds\,ds'}{l^2}$ d'un produit de deux longueurs à un carré est une quantité numérique indépendante des unités adoptées; il en est de même du facteur $(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')$. L'intégrale de $\frac{ds\,ds'}{l^2}(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')$, étendue à deux circuits ou à deux portions quelconques de circuit, est donc elle-même une quantité numérique qui ne dépend pas des unités adoptées et qu'on peut représenter par un nombre A. Ce nombre est par exemple égal à 2 si les deux circuits sont rectilignes, parallèles, et si l'un d'eux est indéfini tandis que l'autre a une longueur égale à sa distance du premier; il est égal à 1 si la longueur du second circuit est égale à la moitié de cette distance.

25. La force avec laquelle s'attirent deux circuits de forme quelconque parcourus par deux courants d'intensité S et S' peut donc se mettre sous la forme

$$F = II'A$$

ou

$$F = I^2A,$$

si les intensités I et I' sont égales; quant à la force F, elle est attractive ou répulsive suivant que l'intégrale A est elle-même positive ou négative.

Les dimensions de l'unité électro-dynamique d'intensité se déduisent de l'équation $F = I^2A$, en remarquant que A est un nombre qui peut être égal à l'unité et dont on n'a pas à tenir compte; on a donc pour l'unité d'intensité $(I) = \left(F^{\frac{1}{2}}\right)$ ou

$$(I) = \left(L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}\right).$$

Les dimensions des autres unités électriques s'en déduisent aisément : nous y reviendrons plus loin.

26. En appliquant la formule d'Ampère à deux circuits fermés enveloppant deux surfaces planes S et S′, perpendiculaires l'une à l'autre et placés de façon que le centre de gravité de la surface S′ se trouve sur une normale élevée au centre de gravité de la surface S, on trouve que la surface S′ est soumise à un couple de rotation C, qui a pour valeur

$$C = \frac{2SIS'I'}{D^3}$$

en désignant par D la distance des deux centres de gravité, supposée très grande par rapport aux dimensions des surfaces S et S′.

Si les deux courants ont la même intensité, le couple de rotation est

$$C = \frac{2SS'I^2}{D^3}.$$

Cette formule permet de mesurer directement l'intensité d'un courant I, en remplaçant par des bobines les surfaces S et S′, en suspendant la bobine qui correspond à S′ et en mesurant le couple qui agit sur elle par la torsion du fil de suspension. C'est sur cette formule que repose l'électro-dynamomètre de Weber.

27. *Unités électro-magnétiques.* — Le troisième système d'unités du système électro-magnétique a pour base la formule de Laplace :

$$dF = \frac{g\mu I ds \sin \alpha}{r^2}$$

qui exprime la force élémentaire dF exercée sur un pôle magnétique μ par un élément de courant Ids, situé à une distance r et formant un angle α avec la ligne qui joint son centre au pôle μ. g est une constante qui dépend des unités adoptées.

On sait que cette force est normale au plan qui passe par l'élément de courant et le pôle magnétique.

Dans le système électro-magnétique, on suppose le coefficient g égal à l'unité; la formule devient :

$$(7) \qquad dF = \frac{\mu I ds \sin \alpha}{r^2},$$

l'unité de pôle magnétique étant défini comme il a été dit au n° 13.

En intégrant l'équation (7) pour toute l'étendue d'un circuit, on obtient l'action d'un courant de forme quelconque sur un pôle magnétique ou sur un aimant.

28. L'intégration pour un courant rectiligne indéfini agissant sur un pôle magnétique conduit à la relation :

$$F = \frac{2I\mu}{r}$$

qui donne l'unité d'intensité, si $\mu = 1$, $r = 1$ et $F = 2$. C'est l'intensité d'un courant rectiligne indéfini qui, agissant sur un pôle magnétique égal à l'unité, situé à l'unité de distance, développe une force égale à deux unités absolues de force.

29. En appliquant la formule à un circuit circulaire de rayon r agissant sur un pôle magnétique μ, placé à son centre, on a pour la force à laquelle est soumis ce dernier :

$$F = \frac{2\pi\mu I}{r}.$$

Si le pôle μ, est remplacé par un petit aimant de moment $\lambda\mu$, les deux pôles sont soumis à des forces égales et de sens contraires qui produisent un couple dont le moment est $\frac{2\pi I\lambda\mu}{r}$, lorsque l'aimant est placé dans le plan du fil conducteur.

Cette action combinée avec celle du magnétisme terrestre fait prendre à une aiguille aimantée horizontale une position telle que si θ désigne la déviation par rapport au cadre placé dans le plan du méridien magnétique, et si h est la composante horizontale du magnétisme terrestre, on ait :

$$\frac{2\pi I\lambda\mu}{r} \cos\theta = h\lambda\mu \sin\theta.$$

L'intensité absolue I du courant est donc :

$$I = \frac{hr}{2\pi} \operatorname{tang}\theta,$$

ou, si l est la longueur du fil enroulé sur le cadre circulaire,

$$I = \frac{hr^2}{l} \operatorname{tang}\theta.$$

C'est la formule de la boussole des tangentes; elle donne l'intensité I en valeur absolue lorsque la composante horizontale de magnétisme terrestre, h, est elle-même connue en valeur absolue.

30. On démontre facilement en appliquant la formule élémentaire (7) à un courant fermé :

1° Qu'il développe un champ magnétique dont la valeur aux divers points de l'espace est la même que celle qui serait due à un petit aimant normal au plan et dont le centre serait situé au centre de gravité de la surface S enveloppée par le courant, si le produit SI de la surface S par l'intensité I est égale au moment magnétique $\lambda\mu$ de l'aimant, ou, plus exactement, qu'il peut être remplacé par un feuillet magnétique limité au circuit du courant, dont les deux faces possèderaient des charges magnétiques contraires égales, telles que $SI = \lambda\mu$, λ désignant l'épaisseur du feuillet.

2° Qu'un courant fermé I', enveloppant une surface S', placé dans un champ magnétique, est soumis à un couple égal à celui qui agit sur un aimant de moment $\lambda'\mu'$, si l'on a $\lambda'\mu' = S'I'$.

D'un autre côté, si l'on calcule l'action exercée par un petit aimant $\lambda\mu$ sur un autre aimant $\lambda'\mu'$, ayant son centre situé sur le prolongement du premier aimant à une assez grande distance, D, et qui soit normal à la ligne des deux centres, on trouve pour le moment de rotation auquel est soumis cet aimant :

$$\frac{2\lambda\mu \times \lambda'\mu'}{D^3}.$$

L'action exercée par un courant fermé I enveloppan une surface S sur un autre courant fermé I' situé à une distance assez grande D enveloppant une surface S' normale à la surface S et placée de façon que les centres de gravité des surfaces S et S' se trouvent sur une même normale au plan de la surface S est donc un couple de rotation C, dont la valeur est :

$$C = \frac{2SIS'I'}{D^3}.$$

ou, si les courants I et I' sont égaux,

$$C = \frac{2SS'I^2}{D^3}$$

Cette formule permet de déterminer l'intensité I en unités électro-magnétiques par la mesure d'un couple C, sans l'intervention d'un aimant.

Cette formule est la même que dans le système électro-dynamique (n° 26). Il en résulte que l'intensité d'un courant est représentée par le même nombre dans le système électro-magnétique et dans le système électro-statique, et que, par conséquent, les unités d'intensité

dans les deux systèmes sont identiques. Les autres unités, qui se déduisent de l'intensité et des équations (1), (2), (3), (4) sont donc également les mêmes.

31. Les dimensions de l'unité électro-magnétique d'intensité se déduisent de l'une des équations précédentes, par exemple de celle du n° 26 $F = \frac{2I\mu}{r}$, qui, en négligeant le facteur numérique 2, et en remplaçant F et μ par leurs dimensions données précédemment et r par l'unité de longueur, conduisent aux dimensions suivantes :

$$(I) = \left(L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}\right).$$

Elles sont naturellement les mêmes que celle de l'unité électro-dynamique d'intensité (n° 25).

L'unité de quantité dérive de la relation $Q = It$, en remplaçant I par ses dimensions et t par l'unité de temps T, ce qui donne

$$(Q) = \left(L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}\right).$$

L'unité de résistance (R) dérive de la loi de Joule $W = I^2R$, en remplaçant W par les dimensions de l'unité de travail (L^2MT^{-2}) et I par $\left(L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}\right)$,

$$(R) = (LT^{-1}).$$

Ces dimensions sont les mêmes que celles d'une vitesse.

La force électro-motrice E est donnée par l'équation $I = \frac{E}{R}$; en remplaçant I et R par leurs dimensions on a :

$$(E) = \left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right).$$

Enfin, pour la capacité électro-statique S, on a la relation $Q = SE$, ce qui conduit, pour les dimensions de S, à

$$(S) = (L^{-1}T^{2}).$$

32. *Dimensions des unités magnétiques dans le système électro-statique.* — Les unités électro-magnétiques dérivent directement des unités magnétiques et forment avec ces dernières, ainsi qu'avec les unités électro-dynamiques un ensemble complet, bien défini et parfaitement cohérent.

Dans le système électro-statique les unités électriques sont déterminées directement, et l'on peut se demander ce que deviennent dans ce système les unités magnétiques si, abandonnant la définition élémentaire de l'unité de magnétisme, on la déduit des relations qui existent entre les courants et les aimants. Cette question a été traitée par MM. Maxwell et Clausius, qui ont été conduits à des résultats différents.

33. Si l'on part de la formule élémentaire de Laplace, Biot et Savart, $dF = \frac{\mu I ds \sin \alpha}{r^2}$, et qu'on l'applique à un courant rectiligne indéfini agissant sur un pôle magnétique μ situé à une distance r, on a la relation (n° 28)

$$F = \frac{2I\mu}{r},$$

qui peut servir à déterminer μ dans le système électro-statique en fonction de I, et à en déduire l'unité de pôle magnétique qu'on peut définir par cette équation : C'est le pôle magnétique qui, placé à l'unité de distance d'un courant rectiligne indéfini serait soumis à une force égale à la moitié de l'unité absolue de force.

On en déduit alors pour les dimensions de l'unité de pôle magnétique, P, en remplaçant F par (LMT^{-2}), r par L, et I par les dimensions de l'intensité du courant dans le système électro-statique $\left(L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}\right)$:

$$(P) = \left(L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}\right).$$

Ce sont les dimensions données par M. Maxwell dans son *Traité d'électricité et de magnétisme.*

34. Si, dans le système électro-magnétique, I' et μ' sont les intensités du courant et du pôle magnétiques que nous venons de représenter par I et μ dans le système électro-statique, on a pour la force F à laquelle est soumis le pôle magnétique

$$F = \frac{2I'\mu'}{r},$$

et, par conséquent, on doit avoir :

$$I\mu = I'\mu' \quad \text{ou} \quad \frac{\mu'}{\mu} = \frac{I}{I'} = v.$$

Nous reviendrons plus loin sur la valeur de ce rapport.

Les dimensions des autres grandeurs magnétiques (moment magnétique, champ magnétique, etc...), se déduisent facilement de celle du pôle magnétique ; ainsi le moment magnétique d'un aimant $\lambda\mu$ a pour dimension :

$$\left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}\right).$$

35. M. Clausius, d'un autre côté, établit les unités magnétiques en partant de l'identité d'effet produit par un courant fermé et par un petit aimant normal à son plan, ou plutôt par un feuillet magnétique limité au même contour que le courant et dont les deux faces opposées constituent deux pôles égaux et contraires, identité qui conduit, en représentant par S la surface et I l'intensité du courant, par $\lambda\mu$ le moment magnétique de l'aimant équivalent à la relation :

$$\lambda\mu = SI.$$

Le moment magnétique $\lambda\mu$, ou plutôt l'unité LP de moment magnétique, a, dans ce cas, les dimensions de

produit de l'unité de surface (S) = (L^2) par l'unité d'intensité (I) = $\left(L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right)$, ou

$$(LP) = \left(L^{\frac{7}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right).$$

Les dimensions du pôle magnétique sont alors

$$(P) = \left(L^{\frac{5}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right).$$

Elles sont différentes de celles qui sont données par Maxwell.

36. Dans le système de M. Clausius, on a entre un courant fermé SI et un aimant équivalent de moment $\lambda\mu$, la relation $IS = \lambda\mu$. Dans le système électro-magnétique si I' est l'intensité du même courant et μ' l'intensité magnétique du pôle, on a $I'S = \lambda\mu'$; de ces deux équations on tire :

$$\frac{I}{\mu} = \frac{I'}{\mu'} \quad \text{ou} \quad \frac{\mu'}{\mu} = \frac{I'}{I} = \frac{1}{v}.$$

37. Les unités d'intensité et de pôle magnétiques sont les réciproques de I et I', de μ et μ'; si P_s et P_m sont les unités de pôle magnétique dans le système électro-statique et dans le système électro-magnétique, on a donc :

1° D'après M. Maxwell :

$$(P_s) = \frac{(P_m)}{v}.$$

2° D'après M. Clausius :

$$(P_s) = v(P_m).$$

38. Ces deux manières d'envisager l'unité de pôle magnétique dans le système électro-statique sont également rationnelles. Celle de M. Clausius serait peut-être préférable, car dans la pratique on a plutôt à envisager les moments magnétiques que la quantité absolue de magnétisme ; mais l'usage des mesures magnétiques est

extrêmement rare dans le système électro-statique et il paraît préférable de conserver à l'unité de magnétisme sa définition élémentaire, c'est-à-dire de la considérer comme étant la quantité de magnétisme qui repousse avec l'unité de force une égale quantité située à l'unité de distance, qui conduit pour l'unité de pôle aux dimensions données précédemment (n° 13) $(P) = \left(L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}\right)$, sauf à introduire le coefficient v lorsqu'il est nécessaire.

MESURE DES GRANDEURS ELECTRIQUES.

39. Les grandeurs électriques peuvent se mesurer soit en unités électro-statiques, soit en unités électro-magnétiques. Nous allons indiquer sommairement comment peut s'obtenir cette mesure.

40. *Mesure dans le système électro-statique.* — Dans le système électro-statique, on peut communiquer à une petite sphère une quantité d'électricité connue, en l'électrisant, puis en la mettant en contact avec une seconde sphère de même rayon qui prend la moitié de sa charge, et en mesurant la force avec laquelle ces deux sphères se repoussent. Si Q est la charge égale prise par les deux sphères, leur force répulsive à une distance r, qu'on peut mesurer à l'aide d'une balance de torsion ou d'un électromètre, est $F = \frac{Q^2}{r^2}$; d'où l'on déduit $Q = r\sqrt{F}$.

En présentant à cette petite sphère chargée d'une quantité connue Q d'électricité un corps électrisé placé à une distance suffisante pour qu'on n'ait pas à tenir compte du déplacement de fluide électrique à sa surface, et mesurant la force répulsive F', qui s'exerce à une distance v', on a $F' = \frac{QQ'}{r'^2}$ ou $Q' = \frac{F'r'^2}{Q}$.

41. Cette méthode n'est pas applicable si le conducteur électrisé a de grandes dimensions, mais on peut avoir sa charge, A, au moyen de deux mesures. On touche le conducteur avec une petite sphère métallique qui prend une fraction de sa charge, $\frac{A}{\alpha}$, qu'on peut mesurer; soit $\frac{A}{\alpha} = P$. La charge du conducteur devient $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)$. En touchant de nouveau le conducteur avec la sphère d'épreuve un certain nombre de fois, et la déchargeant après chaque contact, la quantité d'électricité qui était primitivement A devient successivement : $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^2$, $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^3$, etc... et enfin $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^n$ après n opérations semblables. Un nouveau contact avec la sphère d'épreuve fait prendre à cette dernière une charge $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^n \times \frac{1}{\alpha}$ qu'on mesure de nouveau, soit $A\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^n \times \frac{1}{\alpha} = Q$. Les deux équations donnent :

$$\alpha = \frac{1}{1 - \left(\frac{Q}{P}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad \text{et} \quad A = \frac{P}{1 - \left(\frac{Q}{P}\right)^{\frac{1}{n}}}.$$

42. Lorsqu'on veut simplement comparer les charges A et B de deux conducteurs électrisés, on peut se borner à opérer leur décharge à travers le fil d'un galvanomètre. Si α et β sont les angles décrits par l'aiguille sous l'action des deux décharges, on a

$$\frac{A}{B} = \frac{\sin \frac{1}{2}\alpha}{\sin \frac{1}{2}\beta}.$$

43. La force électromotrice, ou différence de potentiel entre deux points, est la cause qui détermine le mouvement électrique entre ces deux points lorsqu'ils sont réunis par un conducteur; elle a pour origine la force répulsive qui s'exerce entre les molécules électriques de même nom et l'attraction qui a lieu entre les molécules électriques de noms contraires. On peut, en appliquant la loi de Coulomb, trouver directement l'expression de la différence de potentiel dans quelques cas particuliers.

Ainsi, le potentiel d'une sphère électrisée, ou plutôt la différence entre son potentiel et celui de la terre, qu'on prend habituellement pour point de départ en le supposant égal à zéro, est égal au rapport $\frac{Q}{r}$ de la quantité d'électricité Q répandue sur sa surface à son rayon r.

On aura donc le potentiel E d'une petite sphère électrisée dont on connaît le rayon r, en mesurant la grandeur de la charge Q au moyen d'un électromètre, et en prenant le rapport $\frac{Q}{R} = E$.

En faisant communiquer la petite sphère métallique d'essai avec un corps électrisé, elle se met au même potentiel, qu'on peut mesurer par la grandeur de la charge électrique qu'elle prend. Il convient toutefois de remarquer que le potentiel du corps soumis à l'essai se trouve un peu modifié par le partage de sa charge avec la sphère d'épreuve, surtout s'il n'a que de faibles dimensions.

44. Pour la mesure de la force électromotrice des piles, on procède de la même manière, en mettant un des pôles à la terre et en mesurant le potentiel d'un corps en relation avec l'autre pôle.

Cette mesure s'effectue d'une manière plus facile et

plus précise en déterminant l'attraction qui s'exerce entre deux surfaces planes parallèles dont la distance est connue exactement, et qu'on met en communication avec les deux pôles de la même pile, dont elles prennent les potentiels. Si E est la différence des potentiels A l'étendue et d la distance des deux surfaces planes en présence, les deux charges, égales et de signes contraires qu'elles prennent ont pour valeur $\frac{AE}{4\pi d}$.

La force attractive est

$$f = \frac{AE^2}{8\pi d^2},$$

si l'on suppose les plaques assez étendues pour qu'on puisse considérer la densité électrique comme uniforme sur toute leur surface.

Sir William Thomson a perfectionné cette méthode par l'addition d'un anneau de garde qui entoure une des plaques, tandis que l'autre a de grandes dimensions, et a réalisé un appareil qui donne en unités électro-statiques, avec une grande précision, la force électromotrice des éléments voltaïques ordinaires.

45. Les intensités de deux courants peuvent se comparer au moyen d'une boussole de tangentes ou de sinus ou d'un galvanomètre préalablement gradué; mais la constante de l'instrument, ou la déviation qui correspond à une intensité connue, doit être préalablement déterminée. Cette détermination peut se faire en déchargeant à travers le fil du galvanomètre un conducteur ou un condensateur dont la charge électrique est connue préalablement, et en répétant l'opération à des intervalles assez rapprochés pour que l'aiguille prenne une déviation constante, ce qu'on réalise, par exemple, au moyen d'une roue interruptrice.

La charge du conducteur peut s'effectuer, par exemple, avec une pile composée d'un grand nombre d'éléments qui permet de reproduire instantanément une même charge électrique. Si Q est la charge du conducteur et n le nombre de décharge dans l'intervalle de temps égal à t secondes, l'intensité du courant en unités électrostatiques est $Q\frac{n}{t}$.

46. La capacité électro-statique d'un condensateur peut se déduire directement de sa forme dans quelques cas particuliers, lorsque le pouvoir inducteur spécifique de la substance qui sépare les armatures est égal à l'unité, ce qui a lieu pour le vide et les gaz. Ainsi un condensateur formé de deux sphères concentriques de rayon R et r a pour capacité $\frac{R-r}{Rr}$; celle d'un condensateur formé de deux cylindres de longueur très grande l et dont les rayons sont R et r est $\frac{l}{2 \log \text{nep.} \frac{R}{2}}$; celle d'un condensateur comprenant deux surfaces planes parallèles d'étendue A et situées à une distance d est $\frac{A}{2\pi d}$. Ces condensateurs sont appelés condensateurs absolus. Si le diélectrique est un corps solide ou liquide, il faut introduire dans les formules un coefficient qu'on nomme le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique.

47. La capacité d'un condensateur dont le diélectrique n'est pas l'air atmosphérique ou d'un condensateur de forme quelconque s'obtient directement en mesurant la charge Q qu'il prend pour une différence de potentiel E connue par la formule $Q = SE$; la différence de potentiel et la charge se mesurant comme il a été dit plus haut.

On peut aussi l'obtenir lorsqu'on ne connaît pas la valeur de la différence de potentiel E par la comparaison des charges prises par le condensateur et par un condensateur absolu, mis l'un et l'autre en relation par leurs deux armatures avec une même source d'électricité, par exemple avec les deux pôles d'une même pile. Si S et S' sont les capacités, Q et Q' les charges, qu'on peut comparer par leur action sur l'aiguille d'un galvanomètre, on a

$$\frac{S}{S'} = \frac{Q}{Q'}.$$

Si l'on emploie pour cette mesure des nombres différents d'éléments, n et n' on a

$$\frac{S}{S'} = \frac{n'Q}{nQ'}.$$

48. Quant à la résistance d'un conducteur, on peut la mesurer directement lorsqu'elle est très considérable, comme celle que peut offrir un fil de coton ou de soie, en mesurant le temps qu'emploie un condensateur dont la capacité S est connue pour perdre une fraction déterminée, la moitié, par exemple, de sa charge lorsque les deux armatures sont mises en communication par ce conducteur. La perte de charge se mesure au moyen d'un électromètre qui permet d'apprécier le décroissement du potentiel.

Si S est la capacité du condensateur dont une des armatures est, au début de l'expérience, à un certain potentiel, tandis que la seconde armature communique avec la terre, et t le temps employé pour que la charge décroisse de moitié, on a pour la résistance R

$$R = \frac{t}{S \log \text{nép}.2} = \frac{t}{S \times 0{,}216}.$$

Cette méthode n'est pas applicable pour les conducteurs métalliques, dont la décharge est trop rapide; leur résistance se déduit de la loi d'Ohm $I = \frac{E}{R}$ en déterminant la force électromotrice E et l'intensité I par les méthodes indiquées plus haut.

49. *Mesure dans le système électro-magnétique.* — Dans le système électro-magnétique, les seules quantités qu'on puisse mesurer directement sont l'intensité et la quantité d'électricité.

L'intensité absolue d'un courant se mesure au moyen d'une boussole de tangentes, en appliquant la formule :

$$I = \frac{hr^2}{l} \tang \theta,$$

dans laquelle θ est la déviation de l'aiguille, r le rayon du cadre circulaire, placé dans le plan du méridien magnétique, l la longueur du fil et h la composante horizontale du magnétisme terrestre.

On peut également mesurer l'intensité absolue d'un courant au moyen d'un électro-dynamomètre par l'action qu'exerce une bobine circulaire traversée par le courant sur une autre bobine parcourue par le même courant. Cette intensité se déduit de la déviation et de la torsion du fil qui soutient la bobine mobile.

50. Quant à la quantité d'électricité qui constitue la charge d'un conducteur ou d'un condensateur, elle est donnée par l'angle que décrit l'aiguille d'une boussole de tangentes dont on fait traverser le fil par cette charge. Si Q est la charge électrique, α l'angle décrit par l'aiguille, r le rayon du cadre, l la longueur du fil, h la composante horizontale du magnétisme terrestre, et t la durée d'une oscillation simple de l'aiguille, préalable-

ment mesurée, on a

$$Q = \frac{2r^2 th}{l\pi} \sin \frac{1}{2} \alpha.$$

51. Quant aux autres grandeurs électriques, résistance, force électromotrice et capacité électro-statique, elles ne peuvent se mesurer directement dans le système électro-magnétique.

La résistance absolue d'un conducteur ne peut se déterminer que par une série d'expériences longues et délicates, sur lesquelles nous reviendrons plus loin, et qu'on ne peut songer à répéter fréquemment. On établit, d'après ces expériences, des étalons types dont la résistance, en unités électro-magnétiques est parfaitement déterminée et auxquels on compare, par les procédés galvanométriques ordinaires, des conducteurs dont on forme des étalons secondaires. C'est par comparaison avec ces étalons secondaires que, dans la pratique, on mesure les résistances par différentes méthodes bien connues, méthode galvanométrique ordinaire, du pont Wheatstone, du galvanomètre différentiel.

52. La force électromotrice d'une pile se déduit de la résistance totale du circuit R dans lequel elle est installée et de l'intensité I du courant par la formule

$$E = RI.$$

On évite ordinairement l'opération, toujours assez délicate, de la mesure absolue de l'intensité et de la résistance totale du circuit, en comparant la force électromotrice des éléments de pile qu'on veut déterminer à celle d'éléments types dont la force électromotrice est préalablement connue. Cette comparaison peut se faire par plusieurs méthodes, par exemple, en opposant à une pile composée d'éléments types une pile formée des élé-

ments à mesurer dont on fait varier le nombre jusqu'à ce que le circuit ne soit traversé par aucun courant. Si n et n' sont les nombres des éléments des deux groupes, E et E' les forces électromotrices, on a

$$nE = n'E'$$

ou

$$E' = \frac{nE}{n'}.$$

53. Enfin la capacité S d'un condensateur s'obtient par la mesure de la charge Q qu'il prend lorsque les deux armatures sont mises en communication avec les deux pôles d'une pile dont on connaît la force électromotrice E, en appliquant la formule $Q = SE$.

La grandeur de la charge, ou de la décharge, se mesure par l'angle que décrit l'aiguille d'une boussole de tangentes dont elle traverse le fil conducteur, au moyen de la formule précédente (n° 50).

Les conditions de l'expérience doivent être définies d'une manière précise à cause de la pénétration du fluide électrique dans la matière isolante qui produit une décharge lente des condensateurs électrisés. Pour l'étude des cables sous-marins on charge ordinairement le condensateur pendant 15 secondes, puis on opère la décharge à travers le galvanomètre et l'on observe l'angle décrit par l'aiguille.

54. On construit des condensateurs étalonnés avec soin, qui donnent, sous de petits volumes, des capacités considérables, auxquelles on compare, dans la pratique, les condensateurs dont on veut mesurer la capacité électro-statique.

L'expérience se fait au moyen d'un galvanomètre sensible de forme quelconque, en mesurant les angles décrits par l'aiguille, sous l'action de la décharge du

condensateur étalon S et de celle du condensateur soumis à l'expérience S'. S'ils ont été chargés avec une même pile de force électromotrice E et si α et α' sont les angles décrits par l'aiguille du galvanomètre sous l'action des décharges produites par les quantités d'électricité $Q = SE$ et $Q' = S'E$, on a :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{SE}{S'E} = \frac{S}{S'} = \frac{\sin \frac{1}{2} \alpha}{\sin \frac{1}{2} \alpha'}$$

ou

$$S' = \frac{S \sin \frac{1}{2} \alpha'}{\sin \frac{1}{2} \alpha}$$

55. *Relation entre les unités électro-magnétiques et les unités électro-statiques.* — Les unités électro-magnétiques sont liées aux unités électro-statiques par un rapport qui paraît avoir une grande importance.

Les dimensions de la quantité d'électricité dans le système électro-statique sont

$$(Q_e) = \left(L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}\right).$$

Une quantité d'électricité peut donc être représentée par

$$q = l^{\frac{3}{2}} m^{\frac{1}{2}} t^{-1},$$

l, m et t représentant des multiples des unités fondamentales L, M et T.

Dans le système électro-magnétique les dimensions de l'unité de quantité Q_m sont

$$Q_m = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}.$$

et la même quantité A est représentée par le nombre

$$Q = l_1^{\frac{1}{2}} m_1^{\frac{1}{2}},$$

l_1 et m_1 étant encore des multiples des unités L et M, différents en général de l et de m.

Le rapport des deux nombres qui représentent la même quantité d'électricité A est

$$\frac{q}{Q} = \frac{l^{\frac{3}{2}} m^{\frac{1}{2}} t^{-1}}{l_1^{\frac{1}{2}} m_1^{\frac{1}{2}}} = \frac{l}{t}\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Les rapports $\frac{l}{l_1}$ des deux longueurs et $\frac{m}{m_1}$ des deux masses sont des nombres abstraits indépendants des unités adoptées, en représentant le produit $\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}}$ par le nombre a, on a

$$\frac{q}{Q} = \frac{al}{t}.$$

Ce rapport, constant quelle que soit la grandeur de la quantité A mesurée dans les deux systèmes, est représentée, comme une vitesse, par le rapport d'une longueur al à un intervalle de temps t ; si on le désigne par v, on a

$$\frac{q}{Q} = v \quad \text{ou} \quad q = vQ.$$

Les unités électro-statiques et électro-magnétiques de quantité Q_s et Q_m, sont liées à q et Q par la relation

$$A = qQ_s = QQ_m ;$$

on a donc

$$\frac{Q_m}{Q_s} = \frac{q}{Q} = v$$

ou

$$Q_m = vQ_s.$$

Ainsi l'unité électro-magnétique absolue de quantité est égale à l'unité électro-statique absolue Q multipliée par le rapport v.

57. Le nombre qui représente le rapport v dépend de la grandeur des unités fondamentales adoptés, mais la vitesse réelle correspondant à ce rapport est une quantité constante, si en effet on adoptait des unités de longueur, de masse et de temps p, r et s fois plus petites, les valeurs de q et Q deviendraient

$$q_1 = (pl)^{\frac{3}{2}}(rm)^{\frac{1}{2}}(st)^{-1}$$
$$Q_1 = (pl_1)^{\frac{1}{2}}(rm_1)^{\frac{1}{2}},$$

le rapport $\frac{q}{Q}$ deviendrait

$$\frac{q_1}{Q_1} = \frac{pl}{rt}\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{apl}{rt}.$$

Or, la vitesse représentée par $v' = \frac{apl}{rt}$ dans le nouveau système d'unités est la même que la vitesse représentée par $\frac{al}{t}$ dans le premier système.

58. Les autres unités électriques dans les deux systèmes sont liées par une relation analogue.

Si i est l'intensité d'un courant en unités électro-statiques, et I la même intensité en unités électro-magnétiques, on a

$$q = it \quad \text{et} \quad Q = It,$$

q et Q représentant dans les deux systèmes la quantité d'électricité qui traverse le conducteur pendant l'intervalle de temps t; on en déduit

$$\frac{I}{I} = \frac{q}{Q} = v \quad \text{ou} \quad i = vI,$$

Quand aux deux unités d'intensité, I, et I_m elles sont liées par la relation

$$\frac{I_m}{I_e} = v \quad \text{ou} \quad I_m = vI_e,$$

59. Le travail correspondant à la chaleur développée par un courant d'intensité I dans un conducteur de résistance R est I^2Rt dans le système électro-magnétique, le même travail est représenté par i^2rt dans le système électro-statique, I et r étant l'intensité du courant et la résistance dans ce système, on a donc

$$I^2r = I^2R$$

ou, puisque $i = v\mathrm{I}$

$$r = \frac{R}{v^2}.$$

Pour les unités R_s et R_m on a

$$\frac{R_m}{R_s} = \frac{1}{v^2} \quad \text{ou} \quad R_m = \frac{R_s}{v^2}.$$

60. Le rapport des forces électromotrices e et E se déduit de la loi d'Ohm qui donne dans les deux systèmes

$$e = ir \quad \text{et} \quad E = IR,$$

d'où

$$\frac{e}{E} = \frac{ir}{IR} = v$$

et

$$e = \frac{E}{v}.$$

Entre les unités absolues E_s et E_m, on a la relation

$$E_m = \frac{E_s}{v}$$

61. Enfin pour la capacité électro-statique d'un condensateur on a dans le système électro-statique $q = se$, et dans le système électro-magnétique $Q = SE$, d'où

$$\frac{s}{S} = \frac{qE}{Qe} = v^2 \quad \text{ou} \quad s = v^2S.$$

ce qui donne pour la relation entre les deux unités de capacité, S_m et S_s

$$S_m = v^2S_s.$$

62. En résumé, les nombres qui représentent les mêmes grandeurs électriques dans les deux systèmes sont liés entre eux par les relations

$$q = vQ \mid i = vI \mid e = \frac{E}{v} \mid r = \frac{R}{v^2} \mid S = v^2 S$$

et les rapports des unités électro-magnétiques aux unités électro-statiques sont

$$\frac{Q_m}{Q_s} = v \mid \frac{I_m}{I_s} = v \mid \frac{E_m}{E_s} = \frac{1}{v} \mid \frac{R_m}{R_s} = \frac{1}{v^2} \mid \frac{S_m}{S_s} = v^2.$$

63. Pour déterminer le rapport v, qui entre avec une puissance 1, 2, — 1 et — 2 dans le rapport des unités électro-magnétiques aux unités électro-statiques, il suffit de mesurer dans les deux systèmes une même grandeur et de prendre le rapport des nombres que donne l'expérience.

MM. Weber et Kolrausch, par une comparaison des nombres trouvés pour les charges électriques de deux condensateurs sont arrivés au chiffre $v = 310.700.000 \frac{\text{mètres}}{\text{secondes}}$.

MM. Thomson et Maxwell par une comparaison des forces électromotrices ont obtenu le premier $282.500.000 \frac{\text{mètres}}{\text{secondes}}$, et le second $288.000.000 \frac{\text{mètres}}{\text{secondes}}$.

Enfin MM. les professeurs Ayrton et Perry, en mesurant la capacité électro-statique d'un condensateur à air dans le système électro-statique et dans le système électro-magnétique sont arrivés au chiffre $298.000.000 \frac{\text{mètres}}{\text{secondes}}$.

64. Les divers nombres trouvés pour le rapport v diffèrent peu des nombres qui représentent la vitesse de la

lumière. Les observations astronomiques, ont en effet conduit à 308.000.000 mètres par seconde; les expériences de M. Cornu, ont donné 300.400.000 ; et celles de M. Foucault 298.000.000 mètres par seconde.

Il paraît donc probable que le nombre v, qui représente le rapport entre les unités électro-magnétiques et les unités électo-statiques, et la vitesse de la lumière dans le vide sont identiques et ont une origine commune.

Quoi qu'il en soit, on admet, en nombre rond, pour le rapport v des unités électro-magnétique aux unités électro-statiques le chiffre

$$v = 3 \times 10^8 \frac{\text{mètres}}{\text{secondes}},$$

ou, dans le système C G S

$$v = 3 \times 10^{10} \frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}.$$

E.-E. BLAVIER.

LE

TRANSPORT DE LA FORCE

PAR L'ÉLECTRICITÉ (*)

Léon Foucault, pour démontrer dans une usine la perfection d'un régulateur de vitesse, confia un jour à la machine à vapeur le soin de donner l'heure aux ateliers. Sans pendule, sans échappement, l'horloge fut conduite par la même bielle que les laminoirs; l'aiguille, dont l'aspect n'avait rien d'insolite, aurait pu, sans retarder pour cela d'une minute, transmettre et régler tout le travail; solidaire de la roue principale, elle en partageait la puissance.

Les dimensions, la masse et la vitesse des organes d'une machine ne peuvent rien apprendre sur l'énergie qu'ils recèlent. Quiconque a visité de grandes usines en a pu faire la curieuse remarque et voir, par exemple, une paire de cisailles ouvrir et fermer ses puissantes mâchoires, prête à couper indifféremment une barre de fer ou une baguette d'osier, sans ralentir en rien son mouvement.

Les forces électriques présentent des contrastes analogues, l'intensité d'un courant n'en détermine nullement la puissance; un faible courant peut gouverner un marteau de 100 kilogrammes, lorsque, à côté de lui, un

(*) *Journal des savants*, 1883.

autre dix fois plus intense restera impuissant à conduire une machine à coudre. L'intensité règle l'effort actuellement disponible, mais elle s'affaiblit par le travail accompli, et la diminution est fort inégale pour des courants d'apparence identique. Un courant, sous ce rapport, ressemble à une roue dont la vitesse ne peut révéler si elle est capable d'un travail de dix chevaux ou prête à s'arrêter sous la pression d'une main posée sur elle. On peut comparer la pile à un réservoir dont l'eau s'écoule; la vitesse dépend de la hauteur du liquide, mais le ralentissement est réglé par son volume.

Pour définir un courant, plusieurs éléments sont nécessaires; jamais un physicien n'oubliera d'en tenir compte, l'erreur serait trop évidente et trop forte. Mais plus d'une fois, pour abréger, on a négligé de les mentionner explicitement, et l'on peut, dans des livres également dignes de confiance, rencontrer sans développements des propositions telles que celles-ci :

L'énergie d'un courant est proportionnelle au carré de son intensité.

L'énergie d'un courant est proportionnelle à son intensité.

L'énergie d'un courant est indépendante de son intensité.

Chacune de ces propositions, en apparence contradictoires, devient exacte quand on complète l'énoncé.

L'énergie d'un courant, *quand la résistance est invariable*, est proportionnelle au carré de son intensité.

L'énergie d'un courant, *quand la force électromotrice est donnée*, est proportionnelle à son intensité.

L'énergie d'un courant, enfin, est indépendante de l'intensité, *en ce sens* qu'avec une intensité donnée, quelle qu'elle soit, on peut, en disposant de la résistance

du circuit, le rendre capable de tel travail que l'on voudra.

C'est ainsi qu'un géomètre peu soucieux de la précision du langage pourrait dire :

La surface d'un triangle est proportionnelle au produit de ses trois côtés, sous-entendant que le rayon du cercle circonscrit est donné.

La surface d'un triangle est proportionnelle à son périmètre, sous-entendant que le rayon du cercle inscrit est donné.

La surface d'un triangle est indépendante de son périmètre; voulant dire qu'avec un périmètre donné, un triangle peut avoir, entre des limites fort écartées, telle surface que l'on voudra.

L'intensité d'un courant n'est pas changée quand on augmente dans la même proportion la force électromotrice et la résistance du circuit, c'est la loi d'Ohm; mais la dépense d'énergie et le travail disponible deviennent bien différents. Supposons deux courants de même intensité traversant un même laboratoire; le premier est produit par une force électromotrice égale à l'unité, en présence d'une résistance également mesurée par 1; la force électromotrice qui donne naissance au second est mesurée par 100, ainsi que la résistance du circuit. Le galvanomètre, s'il est parfait, leur assignera la même mesure; le voltamètre n'accusera entre eux aucune différence appréciable; l'inégalité des énergies est très grande cependant, et toutes les épreuves la mettront en évidence.

Un même accroissement apporté aux résistances des deux circuits pourra décupler l'une et faire varier l'autre seulement de la dixième partie de sa valeur; le premier courant deviendra donc dix fois plus faible, lorsque

l'altération du second sera presque insensible; un fil de platine introduit dans l'un sera chauffé à blanc, fondu peut-être, lorsque, dans l'autre, il s'échaufferait de quelques degrés seulement.

Si, sans changer les résistances, on demande aux courants un travail mécanique, la réaction, en vertu d'une loi qui ne souffre pas d'exception, sera égale à l'action, et les organes mis en mouvement par les réophores feront naître une force électromotrice inverse qui affaiblira les courants et qui, pour un même travail, sera la même dans les deux. La force électromotrice primitive détermine donc pour chacun d'eux le travail dont il est capable, et l'on pourra demander au second, presque sans l'affaiblir, une dépense de force plus que suffisante pour épuiser complètement le premier.

Un mauvais conducteur introduit dans un circuit peut, en s'échauffant, devenir une source de lumière : le courant s'affaiblit alors par l'accroissement de la résistance. Lorsque, séparant les deux électrodes, on fait jaillir entre eux un arc étincelant, une diminution de la force électromotrice accompagne l'accroissement de la résistance; dans un cas comme dans l'autre, l'effet produit dépend de la force électromotrice et de la résistance, et n'a aucune relation nécessaire avec leur rapport, qui mesure l'intensité.

Le calcul de l'intensité appliqué à l'éclairage donne un résultat singulier dont l'explication est facile. Au moment où s'allument les lumières produites par des courants divisés partant du courant principal et allant le rejoindre, l'intensité sous l'influence de ce travail dépensé, reçoit un accroissement subit très sensible au galvanomètre. Le phénomène semble paradoxal, mais tout étonnement doit cesser si l'on examine le rôles des courants

dérivés : ils sont adjoints, non substitués au courant principal ; en les mettant en jeu, quelle que soit leur résistance, on ouvre à l'électricité des voies nouvelles, sans en supprimer aucune. Le courant total doit donc devenir plus intense ; mais chacun des courants partiels sera d'autant plus faible que leur nombre sera plus grand, et, comme la faculté éclairante diminue beaucoup plus que l'intensité, non seulement chaque lumière, mais en même temps l'éclat total doit diminuer, lorsqu'on essaye d'en trop accroître le nombre.

Les dangers apportés par les courants électriques sont, aussi bien que leurs effets utiles, indépendants de l'intensité. Une puissante machine peut imiter la foudre et la porter au loin. L'effet dépend ici d'une grandeur nommée *potentiel*, que, pendant longtemps, les physiciens, sans la définir avec précision, ont appelée la tension, et qui, même pour un faible courant, peut grandir sans limite et foudroyer l'imprudent qui toucherait au fil. Ce grave danger, dont rien ne révèle l'approche, est pour les constructeurs une difficulté très sérieuse ; les plus hardis semblent disposés à passer outre, en isolant les fils de leur mieux ; ils dégagent leur responsabilité par des avertissements et des menaces : la précaution n'est pas suffisante. Le premier chemin de fer construit en France, entre Saint-Étienne et Lyon, restait, pour les habitants des villages traversés, la voie principale de communication ; on laissait, entre deux trains, les enfants jouer et courir sur les rails. Les accidents se renouvelant chaque semaine, on afficha des règlements sévères : personne n'en tint compte ; le maire d'une petite ville eut l'idée ingénieuse de défendre, *sous peine de mort*, le stationnement sur la voie : le nombre des accidents ne diminua pas ; une municipalité voisine, en infligeant une

amende d'un franc, obtint un résultat un peu meilleur.

L'impossibilité de demander aux piles voltaïques un travail industriel a été considéré comme un axiome ; cela reviendrait, disait-on, à brûler, pour produire la force, un combustible plus coûteux que le charbon, le zinc par exemple, à l'aide d'un comburant plus rare que l'oxygène de l'air.

Le raisonnement serait discutable, et l'avenir peut-être montrera dans les courants secondaires et dans l'accumulateur un éclatant démenti.

Quoi qu'il en soit, le courant aujourd'hui transmet la force et ne la produit pas, c'est l'induction qui transforme utilement la puissance mécanique en électricité. Arago, le premier, a observé un effet de l'induction sans en deviner le principe. Une boussole à laquelle un constructeur illustre avait mis tous ses soins se montrait inférieure en apparence aux instruments les plus grossiers. Gambey, cependant, tout en répondant de la mobilité de l'aiguille, constatait avec impatience l'inexplicable lenteur de ses oscillations, sans soupçonner qu'un jour un ingénieux inventeur, à l'aide d'un effet tout semblable, ferait faire au galvanomètre un progrès de grande importance. La cause fut promptement découverte. La résistance, sans aucun doute possible, provenait de la boîte de cuivre. Le cuivre n'agit pas sur l'aiguille aimantée en repos, mais il met obstacle à son mouvement. Cette action, comparable au frottement de deux corps qui ne se touchent pas, paraissait inexplicable; les découvertes de Faraday assignèrent dans la science sa véritable place. Le changement de distance des courants ou des aimants, ou la variation de leur intensité, fait toujours naître en eux de mutuelles influences. Un aimant immobile, si puissant et si rapproché qu'il soit, ne peut faire

naître ni faire varier un courant voltaïque; mais, si on le rapproche ou l'éloigne d'un conducteur, si l'on accroît ou diminue brusquement sa puissance magnétique, on verra tout à coup, dans son voisinage, le courant diminuer, s'accroître ou naître, suivant les conditions de l'expérience.

Deux courants se repoussent ou s'attirent sans exercer sur leur intensité une influence qui naît immédiatement si on les rapproche ou les éloigne; et, dans leur voisinage, un fil conducteur sans autre force électromotrice devient le siège d'un courant engendré par induction. L'effet produit n'est dû ni à l'état magnétique ou électrique des corps, ni à leur situation mutuelle, mais aux changements qui s'accomplissent et à l'agitation en quelque sorte du milieu électro-magnétique. Les physiciens, en se familiarisant avec des phénomènes si étranges, s'étonnèrent bientôt de ne pas les avoir devinés et prévus. Lorsque deux courants, cédant à leur action mutuelle, s'approchent l'un de l'autre, la force vive produite, empruntée à leur énergie primitive, ne peut, disait-on, manquer de la diminuer; il est donc naturel, nécessaire même, que deux courants de même sens qui s'approchent l'un de l'autre diminuent leur intensité; et, avec plus de hardiesse encore, on n'a pas hésité à en conclure que chacun d'eux doit faire naître dans tout fil dont il s'approche un courant qui, s'il s'en éloigne, doit changer de sens.

L'explication n'est ni rigoureuse ni complète. L'évidence invoquée, si elle était incontestable, devrait s'étendre aux actions de tout genre. Une planète, par exemple, quand elle s'approche du soleil, devrait en diminuer la puissance attractive et ce que nous nommons sa masse; les raisons à alléguer sont identiquement les mêmes.

Sans oser en conclure que l'effet soit certain, ni le présenter même comme vraisemblable, il ne serait pas sans intérêt de rechercher quelles perturbations en résulteraient pour les théories de mécanique céleste. La perfection acquise par la science rend périlleuse toute entreprise contre les principes, et l'hypothèse de la variation des masses attirantes, si elle troublait les résultats acquis, serait par là convaincue d'inexactitude. Le calcul, cependant, vaudrait la peine d'être tenté, et l'on peut excuser à l'avance un résultat négatif par la petitesse du coefficient numérique que nos conjectures laissent inconnu.

La découverte de l'induction donna naissance presque immédiatement, il y a aujourd'hui plus d'un demi-siècle, à la machine Pixii. La rotation d'un aimant, dans cet ingénieux appareil, fait naître un courant dont le sens varierait sans cesse, si l'action d'une pièce nommée *commutateur* ne le redressait à chaque inversion ; cet appareil, destiné aux cabinets de physique et simplifié peu de temps après par Clarke, est fondé sur le même principe que les puissantes machines employées aujourd'hui.

Les perfectionnements cependant sont nombreux. Parmi ceux que le succès a consacrés, deux particulièrement doivent être signalés.

M. Siemens, d'abord, puis Wheastone, indépendamment l'un de l'autre, eurent l'idée, jugée tout d'abord très heureuse, d'utiliser, sans recourir aux aimants, la croissante induction d'un champ magnétique. Il suffit, on le sait, de l'influence terrestre pour rendre toute masse de fer sensiblement magnétique et capable de faire naître un faible courant dans un fil rapidement entraîné près d'elle.

Ce courant, à son tour, excite le courant magnétique, qui réagit sur lui, et les deux effets, s'accroissant l'un par l'autre, effacent bientôt toute différence entre la masse de fer donnée et le plus puissant des aimants.

L'autre progrès, dû au physicien italien Paccinotti, a fourni au célèbre constructeur et inventeur Gramme la pièce caractéristique de ses ingénieuses machines. M. Paccinotti a résolu le problème, déclaré souvent insoluble, d'obtenir un courant continu sans faire usage du commutateur.

L'explication de l'expérience d'Arago, donnée par Faraday, est fondée cependant sur la production d'un courant continu; mais, en dépit de l'expérience, obscurcie peut-être par l'éclat des découvertes qui l'accompagnaient, les physiciens enseignaient comme une vérité évidente l'inversion des courants d'induction, selon que l'aimant s'approchait ou s'éloignait des positions d'équilibre.

Le principe ingénieux de Gramme est fort éloigné de l'évidence. Un anneau de fer doux tourne en présence des pôles d'un puissant aimant; sa rotation y détermine un état magnétique variable, qui tend à engendrer, sur les diverses parties d'un fil continu enroulé autour de lui, des courants de direction contraire qui, purement et simplement, le détruiraient si l'on bornait là l'expérience. Mais les forces électromotrices excitées dans ce fil continu, variables pour une même portion du fil, restent constantes en chacun des points, où par suite de la rotation, chaque portion se présente successivement. Il en résulte que deux positions fixes, occupées par des éléments qui changent sans cesse, peuvent être assimilées aux deux pôles d'une pile; à l'aide de deux collecteurs, dont la disposition est elle-même une ingénieuse inven-

tion, ils produisent un courant continu. Les machines de Gramme sont réversibles, un courant devient une force motrice capable de faire tourner l'anneau.

L'électricité se transporte sans frais; un fil suffit, quelle que soit la distance; la perte est grande malheureusement, et il aut l'atténuer.

Le courant produit par une machine peut en faire tourner une autre, mais celle-ci l'affaiblit par sa réaction et diminue le travail consommé par la machine qui le fait naître.

L'influence exercée par le travail d'un courant sur sa propre intensité est un principe de grande importance. Une expérience très élégante de M. Marcel Desprez le démontre et l'explique. Le courant produit par une machine Gramme peut croître et diminuer sous l'influence d'une machine à vapeur, dans les limites les plus étendues. Ce courant est mis en communication avec une seconde machine, entravée à dessin par une résistance qu'il faut surmonter pour la mettre en mouvement. Le courant, très faible d'abord, augmente graduellement; l'aiguille du galvanomètre qui mesure l'intensité s'avance sur son cadran jusqu'au moment où la machine réceptrice commence à tourner; quel que soit ensuite le travail développé par la machine motrice, qu'il devienne deux fois, dix fois, cinquante fois plus considérable, l'intensité du courant ne change plus. L'énergie dépensée, en accroissant la vitesse de la machine réceptrice, fait naître une puissance inverse qui modère le courant et le rend invariable.

En accroissant, en effet, l'intensité du courant, on en augmenterait la vitesse et avec elle la force électromotrice inverse qui le ramènerait à sa valeur primitive sans diminuer toutefois la vitesse acquise, car l'égalité de la

puissance à la résistance assure, quelle que soit la vitesse, l'uniformité du mouvement.

Si, en s'accroissant, le travail dépensé ne peut faire varier l'intensité du courant produit, on n'en verra pas moins augmenter le travail communiqué à la machine réceptrice. La force, déterminée par l'intensité du courant, est constante comme lui; mais l'autre facteur du travail, le chemin parcouru, est proportionnel à la vitesse. Chaque tour de la machine représente le même travail, mais le nombre des tours accomplis par minute peut grandir sans limite.

La théorie, d'accord avec l'expérience précédente, n'assigne aucun maximum au travail qu'une machine d'induction peut absorber et transmettre.

Une machine donnée peut engendrer tel courant et produire telle quantité de travail qu'on voudra. La vitesse de rotation, la force électromotrice qui en résulte et le travail à dépenser seront réglés en conséquence. Au delà de certaines limites malheureusement, on rencontre des difficultés et des dangers. Une machine qui tourne trop rapidement est bientôt hors de service, et une tension trop forte, quelles que soient les précautions prescrites, peut foudroyer l'imprudent qui les brave. On doit donc, pour chaque machine, imposer des limites rigoureuses à la vitesse et à la force électromotrice qui en dépend.

L'affaiblissement du travail moteur, quand on accroît l'effet obtenu, est la conséquence nécessaire de cette limitation obligatoire; il n'a rien de paradoxal.

Il en serait de même pour une machine à vapeur, si l'on imposait une limite à la tension de la vapeur. Supposons qu'une telle machine mette en mouvement les organes d'une pompe dont le réservoir est à sec; le tra-

vail utile est nul, et le travail dépensé, proportionnel à la tension de la vapeur et à la vitesse du piston, est employé tout entier à vaincre les résistances passives en échauffant les pièces du mécanisme. Si la pompe mise en communication avec le réservoir élève 100 litres d'eau par minute, on verra tout à coup les mouvements se ralentir, et, s'il est interdit d'accroître la tension de la vapeur la machine absorber et offrir moins de travail, par cela même qu'on lui en demande davantage.

Supposons, pour entrer au détail, qu'une machine électro-dynamique, en dépensant un travail de quatre chevaux, produise un courant qu'on laisse sans emploi; si, mis ensuite en communication avec une machine réceptrice, ce courant produit le travail d'un cheval, il ne faut pas dire : « La machine motrice dépense quatre chevaux, on en utilise un, le rendement est de 25 p. 100. » Ce serait une erreur : la machine motrice, qui travaillant à vide, dépensait quatre chevaux, n'en absorbera plus que deux seulement quand on utilisera son effet. Le rendement sera donc un demi, quoique l'effet produit soit le quart seulement de la dépense mesurée d'abord.

La diminution produite dans le travail de la machine motrice, dépend, bien entendu, de l'effort demandé au courant, et il y a lieu de chercher la disposition la plus avantageuse.

Pour obtenir le plus grand rendement possible, il conviendrait d'accélérer la vitesse de la machine réceptrice en lui donnant toutefois pour limite celle de la machine motrice, sans quoi toutes deux s'arrêteraient, et le courant serait réduit à zéro. Mais, en accroissant ainsi le travail relatif, on diminue le travail absolu, et lorsqu'à la limite on ne perd rien, c'est à la condition de ne rien produire.

Cette solution est donc à rejeter; et il arrivera bien rarement qu'on trouve profit à en approcher.

Pour obtenir, sans se préoccuper du rendement, le plus grand travail possible, il faut demander à la machine réceptrice le quart du travail que la machine motrice pourrait absorber sans produire d'effet utile. Le rendement, dans ce cas, ainsi que nous l'avons indiqué par un exemple, est égal à un demi, et la machine motrice absorbe seulement la moitié du travail primitif pour en utiliser le quart. Tous ces résultats, il est utile de le répéter, sont liés aux conditions imposées par la prudence; si disposant d'une force illimitée, on osait faire grandir indéfiniment la force électromotrice, le travail dépensé, le travail produit et le rendement pourraient croître en même temps sans limite; mais, en bravant de grands dangers, on rencontrerait bientôt des impossibilités absolues. Quelque soigné que soit l'isolement, un fil, sur de grandes longueurs, présente toujours quelques points faibles; une trop grande tension, lors même qu'elle ne procurerait ni mort ni incendie, amènerait la perte de l'électricité sous forme d'étincelles et d'aigrettes lumineuses.

La résistance d'un fil qui réunit deux machines augmente avec sa longueur, l'intensité du courant est diminuée et avec elle, dans la même proportion, le travail dépensé et le travail produit: deux machines, par exemple, qui, placées à 100 mètres de distance, pourraient transmettre le travail d'un cheval, transportées à 1.000 kilomètres l'une de l'autre et reliées par un fil de même section, ne pourraient plus fournir que des effets insignifiants, suffisants pour les besoins d'un télégraphe, mais sans aucune valeur industrielle.

Pour transmettre à de grandes distances un travail

mécanique, il importe donc de modifier la construction et le mode d'action des machines. La distance par elle-même est sans influence, elle intervient seulement pour accroître la résistance du fil, qui, proportionnelle à sa longueur, varie en même temps en raison inverse du carré du diamètre; elle dépend aussi de la nature du métal, et pour le cuivre, à section égale, est cinq fois moindre que pour le fer. On pourrait donc aisément, soit par l'accroissement du diamètre, soit par le choix d'un métal plus conducteur, atténuer ou supprimer les effets de la distance.

Le travail transmis resterait invariable, malgré l'accroissement de résistance, si le carré de la force électromotrice grandissait dans la même proportion. Si, par exemple, la résistance devient cent fois et la force électromotrice dix fois plus grande, aussi bien sur la machine motrice que sur la machine réceptrice, l'intensité du courant, d'après la loi d'Ohm, sera dix fois moindre; mais, les machines tournant dix fois plus vite, il y aura compensation.

Cette solution, indiquée par les formules théoriques, ne tient pas compte malheureusement des bornes imposées par la prudence à la vitesse de rotation et à la force électromotrice.

La substitution du cuivre au fer, en procurant, à poids égal, une conductibilité cinq fois plus grande, accroîtrait beaucoup la dépense. La solution imposée par les conditions du problème paraît être l'emploi des machines de grandes dimensions. Si l'on accroît dans un même rapport toutes les dimensions d'une machine, la force électromotrice, à vitesse angulaire égale, croît proportionnellement au carré du rapport de similitude, et c'est sur ce principe, démontré par M. Marcel Deprez, et voi-

sin d'ailleurs de l'évidence, que doit reposer sans doute la solution si importante du grand problème.

M. Marcel Deprez qui, le premier, a obtenu déjà, pour le transport à grande distance, des résultats pratiques importants, accepte l'accroissement de tension, espérant en atténuer les dangers par l'isolement des appareils. Mais, au lieu de demander à l'accroissement de vitesse la production de la force électromotrice, il l'obtient très ingénieusement en diminuant le diamètre du fil enroulé sur la bobine dont il accroît en même temps la longueur, de manière à lui conserver le même volume et à la machine le même aspect.

La transmission du travail à de grandes distances devient ainsi possible avec les machines mêmes et les fils de transmission des machines ordinaires, sans qu'il soit nécessaire d'accroître de façon inquiétante la vitesse de rotation des machines.

Cette solution, réalisée à Munich pendant la dernière exposition, a donné de grandes et légitimes espérances. Elle n'autorise pas cependant à affirmer que la transmission de la force à grande distance soit aussi facile qu'à 1 kilomètre.

Une locomotive parcourt en un quart d'heure la distance de Paris à Saint-Cloud; est-il possible, avec la même machine, d'aller dans le même temps de Paris à Versailles? Rien n'est plus facile, peut-on dire : chauffez plus fort et doublez la vitesse.

C'est de la même manière à peu près que la force peut se transmettre à 100 kilomètres aussi aisément qu'à 1.000 mètres. Il suffit de décupler la force électromotrice.

J. Bertrand.

CHRONIQUE.

Déplacements et déformations des étincelles par des actions électro-statiques.

Note de M. Aug. Righi.

Des expériences connues montrent que la décharge électrique commence lorsque la densité électrique sur les électrodes a une valeur suffisante, en relation avec les dimensions des boules, leur nature, distance, etc. Si l'on admet que la décharge est constituée par l'émission des particules électrisées, elle devra commencer sur celle des deux électrodes où la densité est plus grande, d'où l'on tire l'explication de beaucoup de phénomènes.

Si donc l'on suppose que, à peu de distance du lieu où se forme l'étincelle, se trouvent d'autres corps électrisés, les particules doivent dévier de leur chemin, en s'éloignant des corps qui ont des charges de même nom que celle de l'électrode qui les repousse, et s'approchant des corps chargés d'électricité contraire. Or l'étincelle doit suivre le chemin même des premières particules repoussées ; car en raison de la chaleur développée, elle offre moins de résistance. L'étincelle elle-même devra donc être déviée, comme si c'était un corps chargé d'électricité de même signe que celle de l'électrode où la densité avant la décharge est plus forte.

L'une des manières dont j'ai vérifié les faits de ce genre est la suivante. On dispose verticalement, l'une au-dessous de l'autre, les deux tiges qui portent les boules de décharge, et, à égale distance, deux plateaux verticaux parallèles, maintenus toujours chargés l'un en + l'autre en —, par une machine de Holtz à peignes auxiliaires, dont les excitateurs sont assez éloignés l'un de l'autre pour que les étincelles n'éclatent pas. On observe aisément que, lorsque les deux

plateaux ne sont pas chargés, l'étincelle produite entre les deux tiges par la décharge d'un condensateur, chargé par une autre machine de Holtz, est à peu près une droite verticale (si les boules ne sont pas trop éloignées). Mais si les plateaux sont chargés et si les deux boules ne sont pas identiques sous tous les rapports, l'étincelle devient courbe, en s'approchant de l'un ou l'autre plateau. Ces changements de forme sont très remarquables, lorsqu'on insère, dans le circuit de décharge, une résistance liquide telle que l'étincelle devienne jaune. Celle-ci acquiert alors des formes très curieuses, et, en même temps, on observe qu'elle part des points des électrodes placés latéralement.

Supposons, par exemple, que les deux boules soient identiques en dimension et nature, mais que l'une d'elles, la négative, communique avec la terre. C'est alors sur la boule positive que la densité est plus forte, et c'est là que la décharge doit commencer. L'étincelle, en effet, se déplace et se déforme, comme le ferait un corps flexible électrisé positivement. Le même effet s'obtient si, les deux boules étant isolés, la négative a un diamètre plus grand que la positive.

(*Comptes rendus.*)

Sur les piles secondaires.

Note de M. J. Rousse.

Pour accumuler de l'électricité de manière à produire de la lumière électrique ou de la force motrice, j'ai disposé plusieurs piles secondaires qui diffèrent notablement de celle de M. G. Planté.

1° Au pôle négatif de la pile secondaire, j'emploie une lame de palladium, qui pendant l'électrolyse, absorbe plus de neuf cents fois son volume d'hydrogène. Au pôle positif, j'emploie une lame de plomb. Le liquide électrolysé est l'acide sulfurique au dixième. Cet élément est très puissant, même sous de faibles dimensions;

2° Un autre élément secondaire, qui a donné aussi de bons

résultats, est formé, au pôle négatif, d'une lame de tôle mince : cette lame absorbe plus de deux cents fois son volume d'hydrogène, quand elle est électrolysée dans une solution de sulfate d'ammoniaque. Le pôle positif est formé d'une lame de plomb pur ou recouvert d'une couche de litharge, ou d'oxyde pur ou de céruse, ou de toutes ces subtances mélangées. Ces lames métalliques plongent dans une solution de sulfate d'ammoniaque à 50 p. 100. de sel.

J'ai employé aussi avec quelques succès d'autres combinaisons analogues. Par exemple :

Au pôle négatif, une lame de tôle; au pôle positif, un cylindre de ferromanganèse. Le liquide électrolysé est du sulfate d'ammoniaque à 40 p. 100.

J'ai remarqué qu'en général, pour composer une pile secondaire, il suffit de placer au pôle négatif du voltamètre un métal qui ait la propriété d'absorber l'hydrogène quand il est placé dans une solution convenable. Il faut, au contraire, placer au pôle positif un métal qui absorbe l'oxygène en se peroxydant.

(*Comptes rendus.*)

Transport de la force par l'électricité.

M. Marcel Deprez, qui, on s'en souvient, avait réalisé à l'Exposition d'électricité de Munich en 1882 le transport de la force à grande distance, a répété ses expériences dernièrement à deux reprises différentes au chemin de fer du Nord sur un fil télégraphique allant au Bourget et revenant à la gare. Nous nous proposons de revenir sur ces intéressantes expériences dans le prochain numéro des *Annales*.

BIBLIOGRAPHIE.

L'électricité comme force motrice, par MM. du Moncel et Geraldy.

M. Th. du Moncel, en présentant à l'Académie un nouveau volume qu'il vient de publier en collaboration avec M. F. Geraldy, sous le titre de *L'électricité comme force motrice*, fait sommairement l'historique des différentes phases par lesquelles ont passé les moteurs électriques depuis 1834, époque des premières expériences de M. Jacobi sur cette question, jusqu'aux expériences si curieuses faites l'année dernière à Munich par M. Marcel Deprez. Il montre qu'on peut les résumer en deux phases bien distinctes : l'une pendant laquelle la force motrice était demandée à une série d'actions électro-magnétiques alternativement créées et interrompues, qui pouvaient, par des combinaisons mécaniques, donner lieu à un mouvement circulaire continu ; l'autre, qui eut pour point de départ le principe de la réversibilité des machines d'induction à courants continus. Les premiers moteurs électriques ne purent fournir que des forces extrêmement minimes, parce que les actions électro-magnétiques sur lesquelles elles étaient fondées ne pouvaient jamais se développer complètement, en raison de la lenteur relative de la production des effets magnétiques, et qu'il se produisait, par suite des interruptions de l'action électrique, des réactions contraires qui annulaient en partie les effets produits. Les moteurs fondés sur le principe de la réversibilité étaient dans de bien meilleures conditions, et c'est seulement alors qu'on put obtenir de véritables forces et produire les effets remarquables qui, depuis quelques années, occupent le monde savant et ont amené les chemins de fer électriques, le transport de la force à grande distance, etc. Ces deux grandes phases de l'histoire des moteurs électriques

ont naturellement entraîné la division du nouveau livre de M. du Moncel en deux parties, dans lesquelles sont décrites les principales machines imaginées depuis 1834, et les diverses expériences et applications qui en ont été faites à diverses époques, surtout celles qui, dans ces derniers temps, ont attiré l'attention publique.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 Mars-Avril

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ DE 1881

(EXTRAIT)

(Suite.)

II

MATÉRIEL DE LIGNE.

Les questions relatives à l'établissement des lignes ont été traitées devant le Congrès par une Commission spéciale : nous n'avons donc qu'à signaler les particularités qu'offre l'Exposition sous le rapport du matériel et de l'outillage.

Section I. — *Lignes aériennes.*

La construction des lignes aériennes dans les divers pays a fait l'objet d'un certain nombre d'articles dans le

Journal télégraphique international de Berne (années 1870 et 1871) ; les traités de M. Blavier pour la France, Preece et Sivewright, Culley, pour l'Angleterre, Zetzche pour l'Allemagne, le *Guide* de l'administration italienne, etc., donnent en outre dans tous leurs détails les procédés en usage dans les principales administrations. Il suffit d'y renvoyer le lecteur pour ce qui concerne la plus grande partie du matériel et de l'outillage, dont les spécimens figurent à l'Exposition.

Les lignes aériennes sont formées de trois éléments essentiels : les fils, les isolateurs et les appuis.

Fils. — On a vu que le fil de fer galvanisé était aujourd'hui d'un usage à peu près général. Le raccordement des fils est une opération importante : il faut que le *joint* résiste à la traction et ne diminue pas la conductibilité électrique de la ligne. En *France*, on emploie surtout le manchon en fer galvanisé, dans lequel on engage les fils et que l'on remplit de soudure pour former un bloc solide. Le POST-OFFICE anglais montre les joints employés par Cooke et Wheatstone (1842), puis par Reid (1844) et enfin le joint de Edwin Clark (1852), dit *Britannia*, d'un usage général sur les lignes de la Grande-Bretagne. M. MANNI, de Dubino (Italie), expose des morceaux de fil de fer galvanisé soudés par un procédé nouveau, sur lequel il ne donne aucun renseignement; la soudure a résisté à une traction qui a déterminé la rupture du fil sur un autre point. Une curieuse photographie de fils aériens couverts de glace entre Saint-Pétersbourg et Moscou, en février 1868, est exposée par l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES RUSSES.

Isolateurs. — La vitrine de la maison DE FUISSEAUX (Belgique), contient, comme nous l'avons vu, une collection très complète des divers types d'isolateurs en

porcelaine dans les divers pays. Le Post-Office a réuni de son côté une collection historique des isolateurs employés en Angleterre aux différentes époques, depuis le tube en plume d'oie de Cooke, jusqu'aux isolateurs en porcelaine et en faïence dont il se sert aujourd'hui. Les Administrations de France, Belgique, Allemagne, Russie, MM. Siemens frères (Angleterre), Siemens et Halske (Allemagne), etc., exposent aussi les modèles usités dans leurs constructions.

L'isolateur à double cloche a l'inconvénient d'offrir des espaces annulaires étroits et obscurs, où les araignées vont faire leur toile, et qui rendent le nettoyage difficile. MM. L. Clark, Muirhead and C°, l'ont modifié de la façon suivante : la cloche intérieure est réduite à un tube creux dépassant notablement les rebords de la cloche extérieure qui est assez large, et la console s'adapte en pénétrant dans le tube. On a ainsi un type intermédiaire entre la simple et la double cloche, et dont la cavité est bien éclairée et facile à nettoyer. L'encastrement de la tige de fer dans la porcelaine s'effectue à l'aide de chanvre enduit de paraffine. En France, M. Lagarde emploie du plâtre gâché avec de la colle-forte.

Il est quelquefois nécessaire de protéger les isolateurs contre les chocs extérieurs, accidentels ou volontaires. On les revêt alors d'une cloche ou chapeau, en fonte, tôle ou zinc; on donne quelquefois le nom d'*isolateurs blindés* aux isolateurs ainsi protégés. M. Lagarde (France) fait la cloche en fer malléable et galvanisé, qui se cabosse sans se casser par l'effet des chocs; dans les isolateurs de ce genre de MM. L. Clark, Muirhead and C°, le chapeau est muni d'ouvertures pour permettre à la pluie de laver la porcelaine. L'isolateur blindé de M. Paris (France) se compose de deux parties; l'une, terminée

par un cylindre en tôle, est fixée au poteau ; l'autre, qui porte la cloche isolante en verre et le crochet de suspension du fil, s'engage à baïonnette dans la première et peut être démontée pour le nettoyage.

La manière d'arrêter le fil conducteur change avec la forme des isolateurs : quelquefois on se contente d'engager le fil dans une rainure courbe pratiquée dans la tête des isolateurs en porcelaine ou en ébonite. Le modèle de ligne de l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES DANOIS est muni d'isolateurs en porcelaine de cette forme. Les isolateurs en ébonite que l'on emploie en France pour la télégraphie militaire offrent encore cette disposition.

L'isolateur Creighton de MM. REID BROTHERS (Angleterre) permet aussi de fixer le fil sans se servir de fil à ligature : c'est un isolateur conique dont le haut se dévisse. Divers autres modèles d'isolateurs sont présentés par M. PATERSON.

Consoles et accessoires divers. — Les isolateurs sont portés par des consoles en fer galvanisé de forme variable, fixées au poteau à l'aide de vis également galvanisées. On trouve des spécimens variés de ces accessoires des lignes chez MM. VAUZELLE ET FILS et la SOCIÉTÉ DES FORGES DE FRANCHE-COMTÉ (France), FLÉCHET, JOWA, CASSART (Belgique), à l'exposition de l'ADMINISTRATION RUSSE, etc.

MM. JAMES et SAMUEL SPENCER (the Rustless and general Iron C°) exposent des accessoires télégraphiques rendus inoxydables par le procédé Barff, consistant à préserver le fer de la rouille en le recouvrant de son propre oxyde magnétique ou oxyde noir : ce que l'on obtient en exposant à l'action de la vapeur d'eau surchauffée les

objets en fer placés dans une étuve à haute température.

Poteaux en bois. — Les divers modes d'injection des poteaux ont été discutés et comparés dans la Commission des lignes télégraphiques nommée par le Congrès. Signalons simplement dans l'exposition du Ministère des Postes et des Télégraphes et dans celle de l'Administration belge, des rondelles de bois provenant de poteaux préparés au sulfate de cuivre et en service depuis plus de vingt ans : bien que résultant de sections faites au ras du sol, elles sont dans un état de conservation remarquable. La Belgique y a joint quelques rondelles provenant de bois créosotés.

M. Cristian Mirandolle (Pays-Bas) a envoyé des poteaux en bois préparés partiellement à la créosote : la base seule est créosotée, le milieu est peint et le reste est en bois blanc. La Direction des Télégraphes de Norwège place sous les yeux du public un exemple curieux de poteau dont la cime a été perforée à coups de bec par un oiseau (le pic noir ou vert), auquel les vibrations du fil font croire à l'existence d'insectes ou de vers dans le bois. Les Administrations de France, Belgique, Suède, Russie, le Ministère de la guerre d'Autriche, la Compagnie des télégraphistes de campagne de Belgique, etc., enfin certaines maisons (Postel-Vinay, Siemens et Halske, etc.,) exposent leur outillage pour la construction et l'entretien des lignes aériennes ordinaires et militaires. Les crampons en fer de M. Engstroem (Suède) pour grimper sur les poteaux ont chacun la forme d'une demi-ellipse, mais de courbure opposée; l'homme est soutenu à la hauteur voulue par un fil métallique passé autour de son corps et du poteau. Pour creuser rapidement les trous, la Belgique emploie une

tarière Marchall modifiée; la Suède a également dans son matériel des tarières, des barres à mine avec dame à l'autre bout, etc.

Poteaux en fer. — L'exposition renferme un assez grand nombre de modèles de poteaux en fer. M. Morris a publié dans les *Annales télégraphiques* (janvier-février 1875) une note sur l'emploi du fer dans les constructions télégraphiques en France, où l'on trouvera quelques utiles renseignements. Les poteaux de M. DE LA TAILLE sont en fer à T et I, pour lignes à trente fils et pour lignes secondaires de un à huit fils (voir aussi les *Annales* de juillet-août 1875). Ceux de M. PAPIN sont formés de quatre fers cornières, chacun enchâssé dans une gaine en fonte dépassant le sol; ils présentent la forme d'une pyramide carrée à jour. La SOCIÉTÉ DES FORGES DE FRANCHE-COMTÉ construit des poteaux entièrement en fer zorés et d'autres destinés à former la base d'appuis mixtes terminés par des poteaux en bois. M. LICHTENFELDER se sert d'une tôle enroulée en forme tronconique et renforcée, s'il y a lieu, par un fer à l'intérieur, dont la nervure dépasse de façon à y placer des barreaux formant échelle. Le poteau peut être mis directement en terre ou encastré dans un socle en fonte si le terrain est humide. M. BOILEAU propose un poteau télégraphique composé d'une tige centrale en fer appuyée dans tous les sens par des assises en fonte à jour, qui sont superposées et donnent à l'ensemble la forme d'un obélisque : il n'indique pas comment les isolateurs seront fixés.

Dans la section belge, MM. FLÉCHET ET JOWA exposent aussi des poteaux métalliques : le poteau de JOWA est composé de tubes en fer étiré galvanisé, avec une co-

lonne cylindrique en fonte pour la base; il est démontable et léger.

Le pourtour de la section anglaise est planté de poteaux tubulaires coniques en fer, très légers, de MM. L. Clark, Muirhead et Cᵉ. La partie en terre est en fonte à nervures; dans la partie qui vient ensuite, le fer est renforcé par un doublage *intérieur* en feuille d'acier, en sorte que la surface extérieure du poteau est unie. Les isolateurs sont fixés à l'extrémité de deux bras reliés par un anneau central, qui s'engage dans le poteau et est maintenu par la forme conique de celui-ci.

Les poteaux tubulaires démontables en fer et fonte de MM. Siemens frères étaient d'abord munis à leur base de plaques en tôle destinées à assurer leur stabilité. Dans le nouveau modèle, le travail de la plantation est facilité par la disposition donnée à l'embase en fonte. C'est un tube à fond plat terminé par une pointe massive; dans l'intérieur, on place un mouton cylindrique, que l'on soulève et fait retomber sur le fond : il ne faudrait pas plus de huit minutes à deux hommes pour faire la plantation. Les isolateurs sont à chapeau métallique et munis d'excentriques pour tendre les fils.

Section II. — *Lignes souterraines.*

Historique. — Les premières lignes souterraines remontent à l'origine même de la télégraphie électrique. Lesage, savant d'origine française, établi à Genève, écrivait en 1782 : « On peut concevoir un tuyau souterrain de terre vernissée, dont la cavité soit séparée de toise en toise par des diaphragmes ou cloisons de terre vernissée, ou de verre, percés de vingt-quatre trous pour donner passage à autant de fils d'archal que ces diaphragmes

doivent soutenir et maintenir séparés. » En 1808, Sömmering, à Saint-Pétersbourg, construisit une ligne souterraine à deux fils, de 1,600 mètres de longueur, pour ses expériences sur l'inflammation de la poudre. La ligne télégraphique que Ronalds plaça en 1816 dans son jardin de Hammersmith, sur la Tamise, pour expérimenter son télégraphe électro-statique à cadran (*), fondé sur le synchronisme, était composée de fils de cuivre isolés dans des tubes en verre, enfermés eux-mêmes dans une enveloppe de bois goudronné. Le Post-Office expose un spécimen de cette ligne en même temps qu'un spécimen de la ligne souterraine établie en 1837 par Cooke et Wheatstone, entre Easton et Camden. Celle-ci consistait en fils de cuivre recouverts de coton et de poix : des rainures étaient creusées dans de longues pièces de bois à section triangulaire; quand les fils y étaient placés, elles étaient fermées par des lattes clouées. Cette ligne, retrouvée en construisant une ligne de chemin de fer, est connue en Angleterre sous le nom de *télégraphe fossile*. Le Département des Télégraphes russes expose de son côté des conducteurs souterrains établis par Jacobi à Saint-Pétersbourg : l'un deux, enfermé dans des tubes en terre, a été posé en 1839 entre le Palais d'Hiver et l'édifice de l'État-Major; un autre à enveloppe de caoutchouc a été posé en 1843 entre le Ministère des voies de communication et Zarskoe-Selo.

En 1846, le Dr Werner Siemens eut l'idée de se servir

(*) Un des premiers essais de *Chappe* fut aussi fondé sur le synchronisme : un signal marquait le moment où les aiguilles de deux pendules synchrones passaient sur certains points du cadran. Le rapport de Lakanal (1793) constate que Chappe employa d'abord l'*électricité* dans ce but, et que la difficulté d'isoler le conducteur lui fit regarder son projet comme chimérique. Chappe avait donc trouvé le télégraphe électrique, dit de Ronalds, avant le télégraphe aérien.

de la gutta-percha; les premiers essais faits en Angleterre et en Prusse, en roulant la gutta-percha autour des fils de cuivre, ne furent pas satisfaisants, notamment à cause de l'imperfection des joints; mais en 1847, MM. Siemens et Halske inventèrent leur machine à recouvrir les fils d'une façon continue avec la gutta rendue plastique par la chaleur, et le problème fut résolu. La Prusse se lança immédiatement dans la construction des lignes souterraines, mais le résultat ne fut pas heureux; les fils, recouverts simplement de gutta, étaient enterrés entre deux couches de sable sans protection extérieure, et à une faible profondeur; la gutta fut détruite par les rongeurs, détériorée par les coups de pioche ou endommagée dans le transport; de plus la gomme était impure, renfermait beaucoup de bulles d'air et le conducteur était mal centré.

En 1853, les principales compagnies télégraphiques d'Angleterre suivirent l'exemple, et des lignes souterraines furent établies entre Londres, Manchester et Liverpool. On prenait des blocs carrés de bois créosoté de 2 à 5 mètres de long, dans lesquels on creusait une rainure suffisante pour recevoir dix fils recouverts de gutta, déposés parallèlement et formant un faisceau enveloppé de deux couches de chanvre goudronné; le bloc était placé au fond d'une tranchée de $0^{m},60$ de profondeur; on clouait une latte sur l'ouverture de la rainure et on comblait la tranchée. Par beau temps, la ligne fonctionnait bien; mais à chaque pluie, les pertes se déclaraient. Les défauts tenaient aux détériorations subies par la gutta-percha pendant le revêtement de chanvre et que le goudron avait masquées, au nombre et à l'insuffisance des joints qui n'étaient pas essayés séparément, au ramollissement de la gutta par la chaleur du

soleil ou des lampes des ouvriers pendant le travail de nuit; les clous servant à fixer les lattes avaient pénétré dans les câbles, etc. Une autre compagnie faisait passer séparément chaque fil recouvert dans un bain de coltar chaud, de chaux et de sable, et le conducteur séché au soleil se décentrait.

On renonça aux lignes souterraines à grande distance, et on se borna à la construction de ces lignes dans les grandes villes où le nombre des conducteurs rendait cette mesure indispensable, et dans les galeries d'égout ou les tunnels. Tout d'abord dans les tranchées on se contenta de placer les fils recouverts dans des conduit en grès, bois ou fonte, munis de couvercles pouvant s'enlever; la fermeture n'étant pas hermétique, la gutta s'altérait par l'air ou les émanations du gaz d'éclairage; on entoura les fils d'enveloppes goudronnées, mais c'était du goudron de gaz et le résultat fut encore moins satisfaisant. En 1852, on essaya la protection par une enveloppe de plomb dans les tranchées et les galeries; les jonctions ne furent pas assez hermétiques pour empêcher les infiltrations de gaz et la fabrication était vicieuse.

En 1855, on construisit à Paris des lignes en fils de fer de 4 millimètres noyés dans du bitume: les fils étaient distants de 27 millimètres. Au bout de cinq ans, elles étaient encore en parfait état.

En 1856, on établit une ligne en bitume de 14 kilomètres de longueur comprenant 28 fils de fer de 3 millimètres, distants de 17 millimètres et disposés en quatre rangées parallèles. Il se déclara bientôt des pertes et des mélanges; le bitume s'altérait aux points exposés aux fuites de gaz et dans les terrains calcaires.

On essaya ensuite de noyer dans du ciment des fils

recouverts de gutta-percha ; mais, dans les lignes en ciment comme dans les lignes en bitume, la recherche des dérangements et leur réparation étaient difficiles.

Traversée des villes et des tunnels. — En France, les câbles souterrains sont de deux modèles correspondant, comme conductibilité, aux fils de fer de 5 et 4 millimètres. Le conducteur est un toron de sept brins de cuivre recouvert de deux couches de gutta-percha avec interposition de Chatterton. L'âme ainsi formée est recouverte d'un guipage de coton goudronné ; puis les âmes, au nombre de sept en général, sont cordées ensemble et le câble est recouvert de trois enveloppes composées de deux rubans de coton séparés par une garniture de filin. Toutes les enveloppes sont d'abord trempées dans une dissolution de sulfate de cuivre ; elles sont ensuite goudronnées au goudron de bois pour les câbles destinés à être mis en tranchée ; elles ne sont pas goudronnées pour les câbles destinés aux tunnels ou galeries, qui sont introduits dans les tuyaux de plomb de $1^{mm},25$ d'épaisseur. Les câbles sont fabriqués par bouts de 400 mètres.

Dans l'un des modèles, le diamètre des brins du toron est de $0^{mm},7$, ce qui correspond à un poids de cuivre par kilomètre de 24 kilogrammes. Dans le petit modèle, le diamètre des brins du toron est de $0^{mm},5$.

Les câbles sous plomb sont installés dans les galeries sur des supports à crochets scellés dans les parois des voûtes et espacés de 1 mètre. Pour les lignes en tranchée, les câbles sont enfermés dans des tuyaux en fonte de 8 millimètres d'épaisseur, ayant la forme des conduites d'eau à emboîtement et d'une longueur utile de 3 mètres. Le diamètre intérieur des tuyaux est de 70, 81 ou 100 millimètres, suivant qu'ils doivent contenir

4, 5 ou 6 câbles. Les tuyaux, placés dans des tranchées de 1 mètre de profondeur, sont raccordés par des joints rendus étanches, en remplissant l'intervalle, entre le bout mâle et le renflement, de corde imprégnée de goudron et de plomb fondu : celui-ci est ensuite maté à froid et à refus. Tous les 50 mètres, on place des manchons en fonte de 1 mètre de long et de diamètre variable avec celui des tuyaux (110, 120 ou 140 millimètres suivant les cas) qui ne sont fixés définitivement qu'après l'introduction des câbles. Les manchons sont raccordés aux tuyaux par une bague tronçonique en plomb matée à froid. Avant de combler la tranchée, on vérifie l'étanchéité de la conduite entre deux manchons en comprimant de l'air avec une pompe. Le tirage se fait par bouts de 400 mètres à l'aide d'une ficelle préalablement passée dans chaque tuyau avant son installation au fond de la tranchée : cette ficelle permet de passer la corde qui introduit ensuite les câbles. Les raccords aux angles s'opèrent avec des coudes en fonte ou en plomb.

En Angleterre, les fils ne sont pas câblés ; pour les introduire dans les tuyaux, on les dispose parallèlement en faisceau à l'aide de liens placés de distance en distance, que l'on coupe au moment où le faisceau entre dans la conduite. On aurait remarqué en effet que le ruban qui entoure le câble se pourrit ou se détériore, et que si on veut alors retirer le câble, l'enveloppe se rebrousse et engorge le tuyau. Les manchons sont remplacés par des regards ou *chambres de raccordement* où se font les soudures. On a vu que, dans les derniers modèles de câbles souterrains, la gutta formait une seule couche, et que le ruban qui enveloppe chaque fil était imprégné d'ozokérite au lieu de goudron.

L'Allemagne emploie des câbles armés de fils de fer.

Dans les villes, ils sont placés dans des canaux en briques ou dans des tuyaux; dans les tunnels, ils sont placés dans des gouttières en bois que l'on remplit avec de la laine provenant des scories des hauts-fourneaux, ou *laine minérale*, pour protéger les câbles contre toute élévation de température.

La BELGIQUE expose deux systèmes de lignes souterraines. Dans l'un, le câble armé en fer est placé dans une tranchée dont le fond est garni de sable : il est recouvert par une voûte formée de deux briques de champ recouvertes par une troisième, et qui n'a d'autre but que d'éveiller l'attention en cas de fouilles pratiquées dans le voisinage. Le câble est goudronné sur place, puis le conduit est rempli de sable. Dans l'autre système, on place les câbles dans des conduits en fonte fendus longitudinalement, qui permettent l'introduction des câbles sans recourir au tirage. La fente est fermée au moyen d'un fer à T retenu par des clavettes, qui passent dans des trous pratiqués dans la saillie que la nervure fait hors du tuyau. On remplit de ciment l'intervalle des clavettes.

M. BRASSEUR (Belgique) propose de placer les câbles dans une gouttière rectangulaire en fer, recouverte d'une plaque au niveau du sol.

On a essayé en Hollande l'emploi de tuyaux d'asphalte, reliés par des manchons de la même matière, le raccordement s'effectuant à l'aide de bitume fondu. Dans l'intérieur sont les fils recouverts d'une double couche de gutta-percha. M. Holtzmann place au fond d'une tranchée des gouttières en bois créosoté, qu'il rempli de brai liquide (résidu de la distillation du goudron de houille). Quand le brai est suffisamment refroidi, on place les fils conducteurs recouverts de gutta-percha et on ferme les

gouttières avec un couvercle. Il est difficile d'admettre que le brai liquide et la créosote n'altèrent pas la gutta.

Nous avons signalé l'emploi du câble BROOKS en Amérique et les essais dont il est l'objet en Europe. Un autre système américain consiste à placer dans un tuyau en fer muni d'un couvercle un faisceau de tubes en verre noyés dans la paraffine. Les conducteurs sont des fils nus introduits dans les tubes. On a proposé encore de placer les fils entre deux couches de verre et de consolider le tout en chauffant et comprimant.

Dans la section française, M. CHAPPÉE expose les types de tuyaux de fonte en usage pour les lignes souterraines, et M. PARIS, des tuyaux en fonte émaillés à l'intérieur, pour faciliter le glissement des câbles. Dans la section anglaise, la RUSTLESS AND GENERAL IRON COMPANY expose de son côté des tuyaux de fer inoxydables.

Lignes à grande distance. — Les désordres que les ouragans amènent dans les lignes aériennes, les perturbations que ces lignes éprouvent par l'effet des changements de température, du givre, des pertes à la terre dans les temps humides, et enfin de l'électricité atmosphérique, ont fait sentir de nouveau la nécessité de compléter les réseaux aériens par des réseaux souterrains permettant d'assurer en tout temps les principales communications. On avait appréhendé les retards qu'éprouve la transmission sur les longues lignes souterraines; mais ces retards existent aussi, bien qu'à un degré moindre, sur les longues lignes aériennes, où l'on est arrivé à les combattre efficacement soit à l'aide de moyens de décharge, soit en intercalant des relais qui ramènent les conditions de transmission sur chaque section à celles de la transmission sur les lignes de lon-

gueur moyenne. Il est vraisemblable que l'emploi des mêmes moyens doit permettre également l'usage des appareils rapides sur les lignes souterraines.

L'Administration française a construit en 1868 une ligne souterraine à vingt-huit fils entre Paris et Juvisy (30 kilomètres), servant d'amorce aux fils aériens des lignes de Lyon et d'Orléans. En 1872, une ligne de vingt et un fils a relié Paris à Versailles. Le matériel et le système de construction ont été identiques à ceux des lignes urbaines; toutefois on a donné dans le câble de Juvisy un écartement plus grand aux fils, en renforçant le guipage qui les entoure individuellement, afin de diminuer l'induction mutuelle.

En 1871, une ligne à quatorze fils a été construite entre Liverpool et Manchester. L'âme des conducteurs renfermait environ 14,50 kilogrammes de cuivre et 16,50 de gutta-percha par kilomètre. Elle était enduite de vieux goudron de Stockholm, mélangé de poussière de liège (pour lui donner plus de consistance), puis recouverte de deux couches en sens inverse de ruban goudronné. Les fils étaient placés dans des tuyaux en fonte ou en poterie, suivant la nature du sol. Le terrain étant généralement bas et le climat pluvieux, l'eau pénétrait dans les tuyaux, qui restaient humides même pendant l'été.

En 1875, l'Allemagne est entrée franchement dans la voie des lignes souterraines à grande distance. Dans l'été de cette année, une commission technique procéda aux études préliminaires et conclut à l'emploi de conducteurs isolés par de la gutta-percha, protégés contre les accidents extérieurs par une armature en fer et simplement enfouis dans une tranchée le long des grandes routes. La fabrication du câble fut confiée à la maison

Felten et Guilleaume. Sa spécification était la suivante : sept conducteurs isolés câblés ensemble ; l'âme de chacun, composée d'un toron de sept fils de cuivre $0^{mm},6$ (soit un poids de cuivre de 18 kilogrammes par kilomètre), recouvert d'un diélectrique formé de deux couches de gutta-percha et de deux couches de Chatterton, le diamètre total de l'âme étant de 5 millimètres (soit un poids de diélectrique sensiblement égal à celui du cuivre) ; le faisceau des sept conducteurs, revêtu de chanvre goudronné, ayant un diamètre de 17 millimètres ; l'armature du câble constituée par seize fils de fer galvanisés de 4 millimètres de diamètre, enroulés en hélice d'un pas de 23 à 26 centimètres et jointifs. Comme conditions électriques, le cuivre devait avoir une résistance kilométrique maxima de 10,5 unités Siemens, et le diélectrique une résistance kilométrique minima de 500 millions, à la température de 15° C. Le câble était livré par bouts de 850 mètres, et recouvert d'une couche d'asphalte (goudron de houille condensé sans créosote) au moment de sa pose dans la tranchée.

La ligne de Berlin-Halle (170 kilomètres) commencée le 13 mars 1876 fut terminée le 28 juin suivant. La capacité électro-statique fut trouvée de 0,22 microfarad par kilomètre. La construction de cette ligne a été décrite en détail dans le journal télégraphique international de Berne (février, mars et avril 1877). En juin 1881, le réseau souterrain de l'Allemagne a atteint un développement de 5,464 kilomètres de lignes composées d'un câble à sept conducteurs pour la plupart, à quatre conducteurs sur quelques points. La Maison Felten et Guilleaume a armé et posé un peu plus de la moitié de ces câbles ; la maison Siemens et Halske a construit et posé le reste. Les deux maisons exposent les différents

modèles de câbles employés : on remarque chez MM. FELTEN ET GUILLEAUME du câble fluvial recouvert d'une seconde armature en fils de fer de 8^{mm},5, ainsi que des manchons en fonte galvanisés de 0^{m},33 ou 0^{m},50, reliés de façon à former un tuble flexible, dans lequel on introduit le câble, quand il est exposé aux atteintes des bateaux. Lorsque le câble ne peut pas être enterré à une profondeur suffisante, on le protège contre les chocs ou les pressions en l'enveloppant d'un tube en fer, et contre l'élévation de la température en l'entourant de *laine minérale*.

D'après les ingénieurs du Reichs-Postamt, on correspond sur ces lignes avec les appareils Morse ou Hughes à des distances de 300 kilomètres, sans arrangement spécial. L'induction des fils ne gêne pas le travail ; toutefois, on ajoute au Morse un relais polarisé (à électro-aimant Hughes) pour que l'employé ne soit pas gêné par le courant de retour. On a soin de n'employer que des appareils Hughes en très bon état. On a reconnu qu'il était très utile, au point de vue des perturbations atmosphériques, d'avoir pour les fils souterrains une *terre* tout à fait distincte de celle des fils aériens.

Pour des distances plus grandes, on intercale des translations tous les 250 ou 300 kilomètres.

Dans les dernières lignes construites, on a augmenté le poids de cuivre et de gutta-percha ; le conducteur est un toron de sept brins de 0^{mm},7 et le diélectrique comprend toujours deux couches de gutta et autant de Chatterton ; l'âme atteint ainsi un diamètre de 6 millimètres (soit un poids par kilomètre de 24 kilogrammes pour le cuivre et 26 environ pour la gutta-percha). A 15° C., la résistance du cuivre ne doit pas dépasser 7 unités Siemens et celle du diélectrique ne doit pas être inférieure

à 500 millions ; la capacité électro-statique doit être moindre que 0,20 de microfarad. Les sept conducteurs sont entourés de jute imprégné de goudron de bois jusqu'au diamètre de 23 millimètres, puis d'une armature de vingt fils de fer galvanisés de $3^{mm},75$ avec un pas d'hélice de 32 à 35 centimètres. Par-dessus, une première couche asphaltique, puis une enveloppe de jute goudronné et une seconde couche asphaltique ; cet enduit ne doit pas être cassant à 0° C., ni couler à 25° C. Le câble est ensuite badigeonné d'eau de chaux.

Avec le nouveau modèle de conducteur, on correspondrait directement par l'appareil Hughes à 400 kilomètres de distance.

En 1879, l'établissement d'un grand réseau souterrain fut également décidé en France. On s'est arrêté à l'idée d'étendre aux lignes à grande distance le système des canalisations en fonte en usage dans les lignes urbaines. On a adopté comme type un câble à trois conducteurs, dans la spécification est en rapport avec la longueur des lignes à desservir. Les câbles armés ne sont employés que pour les lignes de trois conducteurs et au-dessous.

Le Ministère des Postes et des Télégraphes expose le matériel et l'outillage de la construction de ces lignes.

Des spécimens des câbles figurent dans les vitrines des maisons Ménier et Rattier et les divers modèles de tuyaux et pièces en fonte, ainsi que des joints employés dans la canalisation, figurent dans la collection de M. Chappée.

L'emploi du plomb fondu n'étant pas pratique quand il s'agit d'établir rapidement une canalisation de grande longueur, on a renoncé au joint à corde et à plomb fondu des lignes urbaines. On a étudié divers autres joints : *le joint à bagues* de plomb maté à froid, — *le joint à*

bagues croisées, — le joint à bague de caoutchouc et à brides, dit *joint Lavril*, — *le joint mixte* à bagues de caoutchouc et de plomb.

On voit encore chez M. CHAPPÉE *le joint à rotule* de M. Boutmy, et, dans l'outillage de M. TAVERDON pour l'exploitation des mines et carrières, un *joint à garnitures* mobile et flexible, qui paraît spécialement destiné à l'eau et à l'air ou aux gaz sous pression.

Enfin M. PAPIN expose des chambres ou regards en fonte pour lignes souterraines et tuyaux en câble armé.

Divers appareils ont été imaginés pour poser rapidement en terre les câbles armés. De ce nombre sont la charrue de M. BOURDIN (France) et celle de M. TRIBOUT, de Metz. Dans la première, un disque en forme de lentille aux bords tranchants coupe les racines et ouvre le sillon qu'élargit le soc de la charrue; le câble enroulé sur une bobine passe dans un tube recourbé à l'arrière du soc et est déposé au fond du sillon; un rouleau compresseur tasse ensuite les terres. Ce système aurait été essayé en Russie où, avec un attelage de huit bœufs, M. Bourdin aurait obtenu des saignées de plus de 1 mètre de profondeur dans des terres marneuses cultivées en prairies. La charrue de M. Tribout est combinée pour des profondeurs de $0^{m},30$; un premier couteau ou coupe-racines facilite le travail du second, un rabot placé à l'arrière recouvre la tranchée étroite faite par les deux couteaux et un râteau fait disparaître les traces.

On remarque dans le pavillon du MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES et chez M. MÉNIER quelques modèles de câble fluvial, parmi lesquels un spécimen du câble posé à l'embouchure de la Seine entre le Hâvre et la côte du Calvados. Ce câble à cinq conducteurs est revêtu d'une première armature de quatorze fils de fer gal-

vanisés de 5 millimètres, puis d'une seconde, séparée de la première par une couche de jute et composée de onze torons, chaque toron étant formé de trois fils de fer de 5 millimètres. Ce câble jouit d'une grande flexibilité; placé depuis plus de quatre ans dans des parages où le lit du fleuve change continuellement par suite des déplacements des bancs, il a résisté aux marées les plus violentes.

Pour la construction des lignes souterraines le long des voies ferrées, M. Jules HUNEBELLE (France) propose un rail composé de deux pièces, formant un conduit dans lequel on place le câble. M. PERRODY (Suisse) pose sa voie électrique souterraine sur des crochets fixés aux traverses des chemins de fer. Le conduit est formé de deux fers zorés, ou demi-circulaires, assemblés; à l'intérieur, des plaques de porcelaine percées de trous maintiennent séparés les conducteurs qui sont des fils nus formant un faisceau que des anneaux de porcelaine isolent des parois. On a vu que l'idée de cette disposition de fils nus remonte à Lesage (1782).

SECTION III. — *Lignes sous-marines.*

C'est dans l'exposition rétrospective du KINGS' COLLEGE, de Londres, que l'on trouve le point de départ de la télégraphie sous-marine (*). On y voit en effet deux dessins originaux de *Wheatstone*, exécutés en fé-

(*) Comme antériorité, on cite les expériences de Sömmering, sur l'inflammation de la poudre, dont l'une, faite en 1815 à Paris, à travers la Seine, lui donna plus tard l'idée de relier Cronstadt à Saint-Pétersbourg par un câble sous-marin, pour correspondre à l'aide de son appareil à décomposition de l'eau. Les comptes rendus de la Société asiatique de septembre 1839 mentionnent les expériences du docteur O'Shaugnessy, qui posa en rivière un fil enduit de chanvre goudronné et de poix.

vrier 1840 dans le but de démontrer à un comité de la Chambre des communes la possibilité pratique d'une communication télégraphique sous-marine entre Douvres et Calais.

Ces deux dessins sont reproduits d'ailleurs, d'après la photographie, dans le *Journal of the Society of Telegraph Engineers* (1876, p. 90), accompagnés d'une lettre de M. Robert Sabine, gendre de Wheatstone, établissant que le célèbre professeur avait commencé ses études sur ce sujet en 1837.

Le premier montre la manière d'isoler et de fabriquer le câble, ainsi que le moyen de l'amener à bord du navire pour l'immersion (appareils pour revêtir le cuivre conducteur d'une corde isolante, pour recouvrir simultanément sept fils pareils, pour recouvrir l'ensemble des sept fils réunis en faisceau d'une enveloppe de corde, pour faire passer le câble dans plusieurs bains successifs de matière isolante et l'amener à bord). « Chaque fil, écrivait Wheatstone, doit former l'âme d'une corde bien saturée de goudron bouilli, et toutes ces cordes doivent être entourées ensemble d'une corde préparée de la même manière. » Le second dessin montre la route que doit suivre ce câble (plan et profil du détroit entre South-Foreland et le cap Gris-Nez), la manière de l'immerger (le câble est porté par une barque remorquée par un steamer, l'arrière de la barque est munie de bobines horizontales sur lesquelles le câble est lové, et d'une poulie d'immersion), de souder les bouts du câble (d'une bobine à l'autre), et enfin de rechercher les défauts (en soulevant le câble et faisant passer le navire dessous). Wheatstone fit en 1844, dans la baie de Swansea, une expérience préliminaire pour vérifier que son projet était pratique et télégraphia d'un bateau au

phare. Il se disposait à recommencer sur une plus grande échelle lorsqu'il eut connaissance des propriétés de la gutta-percha (1845), mais il ne réussit pas à trouver un moyen de l'appliquer sur le conducteur. On a vu que le problème fut résolu de 1846 à 1848.

En 1847, le gouvernement français avait accordé à M. Jacob Brett une concession de dix ans pour l'établissement d'un télégraphe sous-marin entre la France et l'Angleterre; on la laissa périmer, mais elle fut renouvelée le 10 août 1849 (*) et le 23 août 1850, la ligne fut immergée par M. Read suivant le tracé étudié par Wheatstone. Le câble était formé d'un simple fil de cuivre de $2^{mm},1$ de diamètre, recouvert d'une seule couche de gutta-percha, portant le diamètre de l'âme à $12^{mm},7$; on en voit des spécimens à l'exposition du Post-Office et à celle de la Submarine Telegraph Company. Le câble était construit par bouts de 100 mètres, que l'on reliait (en soudant le cuivre, appliquant la gutta plastique et pressant avec un moule en bois, ce qui donnait un joint de 50 millimètres de diamètre) et enroulait sur une bobine en fer, placée en travers sur le pont d'un remorqueur à vapeur et suffisante pour contenir la longueur totale de 25 milles. Tous les 100 mètres on stoppait pour attacher au câble, afin de l'empêcher de flotter, une masse de plomb pesant de 7 à 11 kilogrammes suivant la profondeur et la nature du fond.

Les atterrissements ou bouts de terre avaient été posés quelques jours à l'avance; ils consistaient en un fil de cuivre de $1^{mm},65$, recouvert de coton imprégné d'une

(*) Vers la fin de 1847, M. West avait transmis des signaux entre une barque en mer et la terre, à l'aide d'un fil isolé en caoutchouc; et en janvier 1849, M. Walker fit une expérience du même genre avec un fil recouvert de gutta-percha, dans le port de Douvres, en présence d'un nombreux public.

solution de caoutchouc et enveloppé d'un tube de plomb très épais.

Tout allait bien au moment de la jonction du câble principal avec le bout de terre français; mais après la jonction, la communication se trouva interrompue et la concession fut annulée.

Le 23 octobre 1851, une nouvelle concession fut accordée à la Compagnie du télégraphe sous-marin de la Manche, dont faisaient partie John Watkins Brett, frère de Jacob Brett, et Sir James Carmichaël; mais tels étaient les doutes conçus sur la réussite du projet que l'entreprise allait échouer faute de fonds et d'entrepreneurs, sans l'énergique intervention de M. Crampton qui n'hésita pas, sept semaines avant l'expiration du délai fixé par l'acte de concession, à se charger de l'exécution matérielle et à avancer la moitié du capital. Dans ces sept semaines le type du câble fut arrêté; les machines nécessaires pour sa fabrication furent inventées, dessinées, construites et montées; le câble lui-même fut fabriqué et, le 25 septembre 1851, il était posé au fond de la Manche, malgré l'imperfection des moyens d'immersion qui consistaient en un ponton, porteur du câble, remorqué par des vapeurs.

« Ainsi, probablement, c'est à l'activité et au talent de M. Crampton ainsi qu'à la courageuse fermeté avec laquelle il persévéra dans sa conviction de la praticabilité d'un projet qui était presque universellement condamné par les plus hautes autorités comme chimérique, que le public doit la possession actuelle d'un télégraphe sous-marin. Les événements qui ont suivi le prouvent encore. Quand on vit que le câble de Calais était posé et qu'il se maintenait de jour en jour dans de bonnes conditions de service, les télégraphes sous-marins commen-

cèrent à être considérés comme un fait acquis et des marchés furent passés pour la construction et la pose d'autres lignes. Cependant, l'année d'après, trois tentatives infructueuses furent faites pour relier l'Angleterre et l'Irlande. Alors on se prit à attribuer le succès de la ligne de Calais à une heureuse chance qui ne devait probablement pas se répéter et MM. Newall, entrepreneurs du câble d'Ostende, proposèrent un fort dédit pour être dégagés de l'obligation de le poser; mais M. Crampton offrit de s'en charger et l'opération fut ensuite exécutée par les entrepreneurs avec un plein succès(*). » Que serait-il advenu si les trois échecs que l'on vient de signaler avaient précédé l'établissement de la ligne de Calais, qui démontra la possibilité d'une pareille entreprise?

Le câble de Douvres à Calais (24 milles marins) se compose de quatre conducteurs; chaque conducteur est formé d'un fil de cuivre de $1^{mm},65$ recouvert de deux couches de gutta-percha donnant à l'âme un diamètre de $6^{mm},35$; des fils de chanvre goudronnés remplissent les interstices des conducteurs câblés; par-dessus, une fourrure de bitord goudronné et une armature de dix fils galvanisés de 7 millimètres. « La corde métallique adoptée pour ce premier câble caractérise tous les câbles posés jusqu'à ce jour et le câble de M. Crampton est resté le type des câbles sous-marins (**) ». Ajoutons que M. Crampton a exprimé dès 1850 l'opinion que les câbles de grand fond devaient offrir une résistance à la traction de sept à huit tonnes, ce qui est encore généralement admis même pour les câbles transatlantiques.

(*) Window, *Mémoire sur les télégraphes sous-marins*, lu le 13 janvier 1857, à l'Institut des Ingénieurs civils de Londres.

(**) M. Preece, Société des ingénieurs télégraphiques, 8 mars 1876.

Le câble posé en septembre 1851 entre Douvres et Calais continue à fonctionner (*); un morceau de ce câble figure au nombre des spécimens des câbles immergés entre l'Angleterre et la France qu'expose la SUBMARINE TELEGRAPH COMPANY. Certains de ces fragments ont été retirés de la mer; les uns sont couverts d'une croûte calcaire et incrustés de coquilles; d'autres font voir l'état d'un câble brisé par une ancre de navire, ou la détérioration des armatures par l'oxydation.

On suit l'histoire de la télégraphie sous-marine, en examinant les échantillons des anciens câbles posés de 1851 à 1858 par M. NEWALL, et la belle collection de la TELEGRAPH CONSTRUCTION AND MAINTENANCE COMPANY, qui s'étend de 1854 jusqu'à nos jours. Le total des câbles posés ou livrés par cette Compagnie à la fin de 1880 s'élève à 64.000 milles marins environ sur les cent mille milles qui représentent à peu près la totalité des câbles existant dans le monde entier.

Les noms de MM. Glass, Elliott, comme ceux de MM. Brett et Newall, sont liés aux origines de la télégraphie sous-marine. Le premier câble de mer profonde fut fabriqué par MM. Glass, Elliott et C° et immergé avec succès par M. Brett entre la Spezzia et la Corse, par des fonds atteignant 900 mètres; c'était un câble à six conducteurs armé de douze fils de fer de 8 millimètres; mais M. Brett échoua l'année suivante dans sa tentative de relier la Sardaigne à l'Algérie (Bône), tant à cause de l'emploi d'un navire à voiles qu'à cause du poids du câble, trop lourd pour des profondeurs de 2.700 mètres. M. Newall fut plus heureux en 1857 avec un câble à

(*) Il a été bien souvent réparé, mais n'a jamais été intégralement remplacé.

quatre conducteurs armé de dix-huit fils de fer de 3 millimètres. Toutefois la communication ne fut jamais bonne que par deux fils et on a renoncé depuis cette époque aux câbles à plus d'un conducteur pour la mer profonde.

Les sondages faits entre l'Irlande et Terre-Neuve avaient fait découvrir l'existence d'un plateau sous-marin d'une profondeur de 3.000 mètres environ, séparé des deux continents par deux tranchées plus profondes, mais ne dépassant pas 4.500 mètres. Sur ce plateau, que le commandant Maury appela le *plateau télégraphique*, le fond consiste en une vase très fine, l'*oaze*, sur laquelle un câble peut reposer en toute sécurité. En 1856, M. Cyrus Field, Sir Charles Bright, MM. Brett et Whitehouse formèrent la compagnie du télégraphe Atlantique. L'âme du câble consistait en un toron de sept fils de cuivre pesant 48 kilogrammes par mille marin et revêtu de trois couches de gutta-percha pesant ensemble 120 kilogrammes par mille. Elle était entourée de fils de chanvre enduits d'une composition de goudron, poix et suif, et d'une armature de 18 torons composés chacun de sept fils de fer de $0^{mm},7$. Le câble était ensuite passé dans un bain chaud de goudron, poix et huile de lin. Son poids dans l'air était d'environ 1.200 kilogrammes par mille marin. Les maisons Newall et Glass-Elliott en fabriquèrent chacune 2.000 milles. Malheureusement les procédés de vérification électrique étaient insuffisants; pour rendre plus apparents les défauts de l'âme, on eût le tort de la soumettre, en l'enroulant sur des bobines, avant l'application de l'armature, à des tensions qui déterminèrent un allongement permanent du cuivre. En supprimant la tension, la gutta revenait sur elle-même, tandis que le cuivre gardait son

allongement ; il en résultait que le conducteur se décentrait et venait affleurer la surface extérieure du diélectrique. De plus, le câble ne fut pas gardé sous l'eau ; le soleil ramollit la gutta sur divers points ; enfin le cuivre employé était très impur. Le 7 août 1857, on commença l'immersion, le câble se brisa peu après le départ de Valentia. Le câble fut réparé et complété, et au printemps de 1858, après quelques expériences préliminaires de déroulement et de relèvement dans la baie de Biscaye, l'*Agamemnon* et le *Niagara* se rendirent au milieu de l'Océan, entre Terre-Neuve et Valentia, d'où ils partirent le 17 juillet en immergeant chacun de leur côté. Le 5 août, la pose était terminée ; mais les signaux ne tardèrent pas à devenir inintelligibles. On essaya de réparer le câble, mais les fils de fer très fins composant les torons de l'armature étaient tellement oxydés qu'on ne pouvait soulever le câble sans le casser. Le POST OFFICE expose un échantillon de ce câble.

L'année 1859 fut marquée par l'insuccès du télégraphe de la mer Rouge et des Indes, entrepris par MM. Newall et C[e] sous la conduite de M. Gisborne. Le câble, dont la longueur dépassait 3.000 milles, était composé d'un toron de sept fils de cuivre pesant 82 kilogrammes par mille marin, recouvert de deux couches de gutta alternant avec deux couches de composition Chatterton, formant un diélectrique du poids de 96 kilogrammes par mille. L'âme était entourée de chanvre goudronné et d'une armature de dix-huit fils de fer de 2 millimètres.

Les échecs successifs de ces deux grandes entreprises, aboutissant à la perte de plus de 8.000 milles de câble, commençaient à décourager l'esprit public. Aussi, la même année, le Gouvernement, qui avait donné à ces entreprises une garantie d'intérêt, ne voulut pas en-

gager davantage sa responsabilité sans être édifié sur l'avenir de la télégraphie sous-marine. Un comité, composé de délégués du *Board of Trade* (ministère du Commerce) et de délégués de la Compagnie du télégraghe transatlantique (*), fut chargé de faire une enquête sur la construction des télégraphes sous-marins, sur les causes des échecs des entreprises précédentes et sur les chances de réussite des opérations à venir. Le Comité se réunit, sous la présidence du capitaine Douglas Galton, et, du 1er décembre 1859 au 4 septembre 1860, il consacra vingt-deux séances à interroger les électriciens, ingénieurs et marins, dont l'expérience et les travaux pouvaient éclairer la question. Des savants désignés par lui poursuivirent des expériences précises sur la conductibilité des diverses substances, la résistance mécanique des câbles, etc. Les essais électriques et la recherche des dérangements, dont les principes avaient été déjà posés par les frères Siemens et par M. Varley (**), les phénomènes de charge et de décharge, et le retard des signaux qui en est la conséquence, la vitesse de transmission, la théorie de l'immersion, etc., furent successivement étudiés et discutés. Le Comité

(*) MM. Stephenson, Wheatstone, Fairbairn, Douglas Galton, Stuart Wortley, Bidder pour le *Board of Trade;* Varley, Edwin Clark, Latimer Clark, Geo. Saward pour la Compagnie transatlantique. Stephenson mourut au début des travaux.

(**) Dès 1847, M. Varley s'était servi de la mesure de l'intensité des courants pour la recherche des défauts dans les lignes de Londres. En 1850, M. Werner Siemens publia dans les *Annales de Poggendorff* une méthode pour déterminer la position d'une perte, qui était fondée sur la mesure de l'intensité des courants aux deux extrémités de la ligne. En 1857, M. Varley donna une formule pour résoudre la même question à l'aide d'expériences faites à un seul des bouts, et en fit l'application pendant l'immersion du câble posé la même année entre l'Angleterre et la Hollande. En 1860, MM. W. et C. W. Siemens substituèrent la mesure des résistances à celle des intensités, et se servirent de résistances graduées en fonction d'une unité définie.

déposa son rapport en avril 1861. L'ensemble des documents de l'enquête comprenant le rapport du comité, les procès-verbaux des séances et les expériences provoquées par lui, ainsi que les mémoires, notes et rapports des ingénieurs consultés, fut publié par le Gouvernement. Il forme un volume in-folio, bien connu des spécialistes sous le nom de *blue-book*, qui est le livre fondamental de la télégraphie sous-marine. « Dans notre opinion, disaient les délégués, l'insuccès des lignes sous-marines est dû à des accidents dont aurait pu se mettre à l'abri, si la question avait été préalablement suffisamment étudiée. Et nous sommes convaincus qu'en tenant compte des principes que nous avons énoncés sur l'étude, la fabrication, la pose et l'entretien des câbles sous-marins, les entreprises de cette espèce pourront être aussi bien couronnées de succès qu'elles ont été jusqu'à ce jour désastreuses. »

L'expérience a vérifié la justesse de cette conclusion. Dès le mois de juin 1859, le gouvernement anglais (*) avait pris des mesures pour que, pendant la fabrication, le câble destiné à relier Falmouth et Gibraltar fût l'objet d'une surveillance assidue. L'âme se composait de poids égaux de cuivre (toron de sept brins) et de diélectrique (trois couches de gutta alternant avec la Chatterton) s'élevant respectivement à 180 kilogrammes par mille marin ; elle devait être recouverte de chanvre goudronné et de fil d'acier, chaque fil d'acier étant lui-même revêtu de chanvre, car la profondeur devait atteindre 4.500 mètres ; mais la destination du câble fut changée et, en vue d'une ligne

(*) Willoughby Smith, *Les premiers jours de la télégraphie électrique*, mémoire publié à l'occasion de la réunion à Paris de la Société des ingénieurs des télégraphes, pendant le congrès international (21 septembre 1881).

Malte-Alexandrie, on lui donna une armature de dix-huit fils de fer de 3mm,17. L'âme fut fabriquée par la Gutta-percha Company : ses qualités électriques furent mesurées à une température uniforme et les résultats inscrits en unités électriques. Elle fut soumise à des essais de vide et de pression, ayant pour objet de faire éclater les bulles d'air qui pouvaient se trouver dans le diélectrique ; on constata que la résistance du diélectrique augmentait avec la pression : la gutta ayant été percée par accident, on remarqua que, sous l'action de la pression, l'eau s'était frayé un passage le long du toron de cuivre. Pour obvier à cet inconvénient, M. W. Smith imagina d'enduire le brin central de composition Chatterton avant de placer autour les six autres brins. De cette façon, on empêchait l'introduction des bulles d'air dans les interstices du toron. Le revêtement extérieur fut fait par MM. Glass, Elliott. Le bâtiment sur lequel le conducteur fut embarqué n'ayant pas de cuves étanches, le câble se trouva soumis à des alternatives de sècheresse et d'humidité, qui accélérèrent la rouille ; la corrosion de l'énorme surface de fer de l'armature ramassée sous un volume relativement petit, suivant les uns, ou la fermentation du chanvre, suivant d'autres, détermina des échauffements tels que la température de certains points dépassa de 14° centigrades celle de l'air extérieur : d'où l'utilité de pouvoir mettre le câble sous l'eau, même à bord des navires.

Le câble d'Alger-Mahon-Port-Vendres (1860-61) mérite une mention spéciale ; car son type fut ensuite adopté pour le télégraphe Atlantique. L'âme était formée d'un toron de sept fils de cuivre pesant environ 50 kilogrammes par mille, revêtu de quatre couches de gutta alternant avec autant de couches de Chatterton, soit un poids

de 102 kilogrammes par mille; elle était entourée de chanvre goudronné et d'une armature de dix-huit fils d'acier de 2 millimètres, garnis eux-mêmes préalablement de filin goudronné. Le poids dans l'air était de 620 grammes par mètre, et dans l'eau de 309 seulement : la traction de rupture était de six tonnes.

Le conducteur du câble du Golfe Persique (1863) présente une particularité. L'emploi d'un fil massif a des inconvénients : la soudure offre une certaine rigidité, et si le fil casse la continuité n'existe plus, tandis qu'en employant un toron, au lieu d'un fil unique, les soudures de chacun des brins ne sont pas au même point, et la rupture d'un seul brin ne met pas le câble hors de service. Mais, à poids de cuivre égal et pour un même diamètre de l'âme, l'induction est plus grande avec un toron qu'avec un fil massif. On voulut combiner les avantages du toron et du fil massif, et on composa le conducteur de quatre fils de cuivre *segmentaires*, c'est-à-dire constituant les quatre quarts d'un cylindre, et étirés dans un tube de cuivre; mais on éprouva de telles difficultés qu'avant l'achèvement de la fabrication on revint au fil solide. Les essais électriques de l'âme furent faits à la température uniforme de 24° centigrades, et l'on appliqua pour la première fois la méthode d'accumulation à l'essai des soudures. Au chanvre goudronné qui pourrait masquer les défauts d'isolement, M. W. Smith substitua la garniture *humide* ou conductrice de chanvre tanné. Enfin pour préserver les fils de fer de l'oxydation et empêcher le rebroussement des fils cassés au passage dans la machinerie d'immersion, l'armature de fils galvanisés fut recouverte de deux couches de chanvre enroulées en sens inverse et avec chaque couche de chanvre on appliquait une composition bitumineuse chaude (enduit de MM. Bright et Clark) formée

de goudron de Stockholm, poix et silice : le câble était ensuite passé entre des rouleaux à gorge qui lui donnaient une surface unie. On empêchait l'adhérence des loves dans les cuves en saupoudrant de chaux en poudre.

En 1864, M. Siemens tenta entre Oran et Carthagène la pose d'un câble *léger*, dont l'âme était entourée d'une double garniture de fils de chanvre trempés dans une solution de sulfate de cuivre : ces fils, dans lesquels résidait toute la résistance mécanique du câble, étaient enroulés en hélice à long pas sous une forte tension et en sens contraire dans les deux couches. Par-dessus était appliquée une enveloppe flexible, composée de bandes de cuivre ou de laiton dont les spires se recouvraient, formant une cuirasse imitant en quelque sorte les écailles d'un poisson. On choisit pour cet objet du cuivre phosphoré (métal de Muntz) qui est peu attaqué par l'eau de mer. Le câble, au lieu d'être lové, fut enroulé sur une grande bobine mobile autour d'un axe vertical et dont le plateau inférieur portait des galets roulants sur un rail circulaire. Cette disposition était vicieuse, le câble trop peu résistant et on dut renoncer à ces innovations.

Malgré ces vicissitudes, la télégraphie sous-marine avait fait de tels progrès que la confiance renaissait, et les promoteurs du câble Atlantique, qui ne s'étaient pas découragés, M. Cyrus Field en tête, réussirent à réunir le capital nécessaire pour tenter de nouveau l'immersion d'un câble entre l'Irlande et Terre-Neuve. L'âme du câble composée d'un toron de sept brins de cuivre pesant 136 kilogrammes, et de quatre couches de gutta-percha et autant de composition pesant 182 kilogrammes par mille marin, fut revêtue de chanvre tanné et d'une armature de 10 fils de *fer homogène* (acier Bessemer) de $2^{mm},41$, entourés séparément d'une garniture de cinq cordelettes de chanvre

de Manille, ou jute, imprégné d'une composition préservatrice de goudron, caoutchouc et poix. La résistance à la rupture de ce câble de grand fond ou *deap see* était de 7 tonnes. L'atterrissement ou *shore-end* était pourvu d'une seconde armature composée de douze torons, chacun de trois fils de fer galvanisés de 6mm,5.

Les précautions les plus minutieuses furent prises pendant la fabrication : le câble fut embarqué sur le *Great-Eastern*, et l'expédition partit dans l'été de 1865 sous la direction du capitaine Anderson et de l'ingénieur Canning. On connaît les péripéties de l'opération; la malveillance ne fut peut-être pas étrangère aux accidents qui survinrent, et l'on dut s'arrêter aux deux tiers de la route. Mais on acquit la conviction que l'entreprise aurait réussi sans ces accidents singuliers et on se remit à l'œuvre.

Tant d'efforts aboutirent enfin et, dans le courant de 1866, une nouvelle expédition, non seulement opérait avec succès l'immersion complète entre Valentia et Terre-Neuve, mais encore le câble abandonné l'année précédente était repêché par 3.500 mètres de fond et prolongé jusqu'à destination. L'Europe et l'Amérique furent donc reliées par deux communications, l'une établie le 28 juillet (câble de 1866), l'autre le 8 septembre (câble de 1865).

Le câble de 1866 (1.852 milles) ne diffère que par quelques détails de celui de 1865 (1.896 milles); on supprima la composition dont était enduit le jute qui entourait chaque fil de fer homogène, et ceux-ci furent galvanisés. On renonça à faire les essais de l'âme sous pression, parce que la pression, loin de faire découvrir les défauts, tend au contraire à les rendre moins apparents.

Au début de la télégraphie sous-marine, Robert Stephenson avait exprimé l'opinion que toute compagnie propriétaire d'un câble devait être en mesure de le renouveler au bout de *huit* ans; la durée du câble atlantique de 1865 parut justifier cette manière de voir, car il cessa de fonctionner le 11 mars 1873.

Le câble de 1866 a été interrompu le 13 janvier 1877 et après des tentatives infructueuses faites en 1877 et 1878 pour rétablir ces deux communications, elles ont été définitivement abandonnées. La durée moyenne de ce type de câble serait donc de dix ans. Les bouts de câble amenés à la surface ont montré que les fils étaient sur certains points corrodés et usés en *aiguilles:* la gutta était intacte. Cette détérioration de l'armature, dans laquelle réside la résistance mécanique des câbles, les empêche de supporter l'opération du relèvement. Comme on l'a fait remarquer, la durée de l'armature n'est pas en rapport avec le caractère d'indestructibilité de la matière isolante (*) ; et, si l'on veut prolonger la vie des câbles de grand fond, il faut trouver un moyen de protéger efficacement l'armature contre la corrosion provenant de causes externes.

Dans les nouveaux câbles transatlantiques, quelques précautions ont été prises à cet effet.

Le câble transatlantique de 1869, de Brest à Saint-Pierre-Miquelon, dit câble *français* (2.584 milles), a son âme formée de poids égaux de cuivre et de gutta-percha (182 kilogrammes par mille). Comme dans les câbles de 1865 et 1866, l'âme est recouverte de jute et de dix fils de fer

(*) On sait que si un câble immergé a une perte, le passage des courants détruit bientôt la continuité au point défectueux. M. Varley a proposé d'introduire un fil fin de platine dans le toron de cuivre pour conserver la continuité quand le cuivre vient à être rongé.

homogène entourés chacun de chanvre de Manille. Mais le tout est protégé encore par deux couches de fil de jute enroulées en sens inverses et imprégnées de la composition de poix et de silice de Bright et Clark. Le câble est donc mieux garanti contre la corrosion et de fait il atteint sa treizième année d'existence.

Le câble intermédiaire est armé de douze fils de fer galvanisés de 6 millimètres et le câble côtier d'une double armature, l'une de douze fils de 5 millimètres, l'autre de douze torons, chacun de trois fils de 6 millimètres. Le conducteur du câble de 1869 avait une résistance électrique de 3,16 ohms et son diélectrique après une minute d'électrisation de 235 megohms par mille marin à 24° C. Après l'immersion, la résistance du conducteur était de 2,93 ohms et celle du diélectrique 5200 megohms.

Les câbles atlantiques de 1873 (1.876 milles) et 1874 (1.837 milles) sont construits sur le même type. Depuis la fabrication du câble de 1874, on a remplacé le revêtement extérieur de chanvre imprégné de composition, par deux larges rubans de toile à voile imprégnés de même et enroulés en sens inverse autour du câble. Dans le câble destiné aux réparations du câble de 1866, les fils métalliques de l'armature étaient recouverts individuellement de ruban et de composition avant d'être cordés. Le câble de 1880 est armé de douze fils d'acier.

Indépendamment des câbles de 1865 et 1866, sur les six câbles atlantiques du nord actuellement en service, la Telegraph Construction and Maintenance Company en a fabriqué quatre : savoir ceux de 1869, 1873, 1874 et 1880 (1.423 milles). Les deux autres, savoir le câble dit *direct* (de 1874-75), et le câble dit *Pouyer-Quertier* (1879) ont été fabriqués par la maison Siemens, de Londres.

Le câble transatlantique du sud se compose de la section Lisbonne-Madère (613 milles) immergée en 1873, et des sections Madère-Saint-Vincent (1.196 milles) et Saint-Vincent-Pernambuco (1.844 milles), immergées en 1874.

Avant de quitter la TELEGRAPH CONSTRUCTION AND MAINTENANCE, signalons l'innovation faite en 1879 pour préserver la gutta-percha des ravages des tarets dans les parages de Singapore, qui sont infestés de ces animaux ; on place sur le diélectrique même de l'âme un ruban de laiton (ou de métal de Muntz) enroulé en spirales se recouvrant (comme dans l'armature de cuivre du câble léger Siemens). Cette protection est appliquée aux câbles immergés par des fonds inférieurs à 180 mètres, car on n'a pas observé des détériorations de ce genre par des fonds plus considérables. Toutefois, certains fragments du câble atlantique de 1865, relevé par 3.600 mètres de fond, ont montré que le chanvre était attaqué par quelque animal marin.

MM. SIEMENS frères exposent des échantillons des câbles Platino-Braziliera (1874), Direct des États-Unis (1874) et Atlantique français (1879). Un nouveau câble atlantique américain est actuellement en cours de fabrication dans leurs usines. Le conducteur du câble direct des États-Unis est formé d'un gros fil central de $2^{mm},3$ de diamètre, entouré de onze fils plus petits de $0^{mm},9$; si l'on considère une section du conducteur, on voit qu'une aire donnée de cuivre est ainsi renfermée dans un cercle plus petit que si l'on eût employé un toron, et la capacité électro-statique de la ligne pour un même diamètre de l'âme se trouve ainsi diminuée : ou encore avec les mêmes diamètres de l'âme et du conducteur, on a un poids de cuivre plus grand et par suite plus de conductibilité ; le

gain dans le cas actuel serait de 10 pour 100, d'après MM. Siemens. Le conducteur et le diélectrique pèsent environ 182 kilogrammes par mille marin. Le câble dit *direct* va de Ballinskellig (Irlande) à Torr-Bay (Nouvelle-Écosse), distance 2.240 milles et de là à Rye-Beach (près Boston), en tout 3.040 milles.

L'emploi, pour les grands fonds, de fils d'acier, revêtus chacun d'une gaine de jute ou chanvre donne des câbles à la fois très légers et très résistants, ce qui facilite l'opération de l'immersion; mais l'armature n'étant pas complètement métallique, on peut craindre que les tarets ne pénètrent jusqu'à l'âme par le jute qui sépare les fils d'acier et que le câble n'ait une tendance à se détordre et à former des coques sur le fond s'il faut relever par ces profondeurs considérables. Dans le câble français de 1879, MM. Siemens ont pris l'initiative, qui a été considérée comme hardie mais que le succès a justifiée, de donner à leur câble de grand fond une armature de fils d'acier jointifs. Le câble français 1879 se compose de deux sections : l'une de Brest à Saint-Pierre (2.242 milles) l'autre de Saint-Pierre au cap Cod (632 milles). L'âme de la section Brest-Saint-Pierre se compose d'un toron de onze fils de cuivre pesant 159 kilogrammes par mille marin (soit une résistance électrique de 3,78 ohms par mille à 24° C.) et de trois couches de gutta-percha alternant avec de la composition, pesant 182 kilogrammes. Elle est enveloppée de filin de jute. L'armature du câble de grand fond se compose de dix-huit fils jointifs d'acier ou de fer homogène galvanisés de $2^{mm},5$; elle est préservée de la corrosion par trois couches de composition asphaltique, séparées par deux gaines de chanvre goudronné et appliquées en sens inverses. La première gaine en chanvre de Manille est enroulée sous forte tension et en

sens contraire du câblage des fils d'acier. La seconde est simplement protectrice. La résistance du câble à la rupture est de 8,6 tonnes, et on a pu le relever sans former de coques par des fonds dépassant 4.500 mètres.

Le câble intermédiaire est de deux modèles : l'un armé de dix-sept fils d'acier galvanisés de $2^{mm},8$ (fonds de 900 mètres), l'autre de quinze fils d'acier de $3^{mm},3$ (fonds de 200 mètres). L'armature des câbles côtiers se compose soit de douze fils de fer *best-best* galvanisés de $7^{mm},6$, soit de deux enveloppes séparées par du jute goudronné, l'une de dix-huit fils de fer de $2^{mm},5$, l'autre de douze fils de fer de 9 millimètres ou de douze torons composés chacun de trois fils de fer de $5^{mm},6$.

Pour la section de Saint-Pierre au cap Cod, l'âme se composait d'un toron de sept fils de cuivre pesant 32 kilogrammes par mille et de trois couches de diélectrique pesant 52 kilogrammes. L'armature du câble de grand fond (fonds atteignant 2.400 mètres) est de quinze fils d'acier de 2 millimètres. La résistance à la rupture est de 4,8 tonnes.

Les câbles intermédiaires sont armés de douze fils d'acier de $3^{mm},3$ ou de dix fils de 4 millimètres; les câbles côtiers de dix fils de fer de 6 millimètres ou de $8^{mm},25$, ou de deux enveloppes, l'une de quinze fils de fer de 2 millimètres, l'autre de douze fils de fer de 9 millimètres ou de douze torons chacun de trois fils de $5^{mm},6$.

La pose du câble direct des États-Unis comme celle du câble français (1879) a été faite par le *Faraday*, dont MM. Siemens présentent un modèle, qui permet de se rendre compte des conditions d'installation des navires employés dans les opérations de la télégraphie sous-marine. Parmi ces navires qui forment aujourd'hui

une véritable flotte, car ils sont au nombre de vingt-sept, les uns, comme le *Faraday*, ont été construits *ad hoc*, les autres comme le *Great Eastern* ou comme la *Charente* dont les plans sont exposés par le MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES, sont des transports qui ont reçu un aménagement spécial.

Le *Faraday* a ses parois droites, ce qui lui donne une grande capacité; il n'a pas de quille, mais il est muni de deux fausses quilles qui limitent de chaque côté l'amplitude du roulis; il possède à l'arrière deux hélices mues par deux machines indépendantes, ce qui lui permet d'évoluer presque sur place, de se maintenir contre le vent et de gouverner sans avoir besoin de vitesse. La machine d'immersion à l'arrière peut se transformer en machine de relèvement, et de même la machine de relèvement à l'avant peut à un moment donné être utilisée comme machine de pose; de cette façon on peut à volonté poser ou relever par l'avant ou par l'arrière. Les cuves sont au nombre de trois, dont deux à l'avant et une à l'arrière; elles ont environ 13 mètres de diamètre sur 9 de profondeur. Le dynamomètre est muni d'appareils enregistreurs inscrivant automatiquement sur une bande de papier les tensions d'une manière continue et le temps de cinq en cinq minutes, de façon à relever toutes les circonstances de la pose.

Les engins accessoires de la télégraphie sous-marine que MM. SIEMENS ont disposés en trophée, comprennent une grande bouée en tôle munie de son mât de pavillon, de ses fanaux pour la nuit, de ses chaînes et anneaux; une glène de cordages en fil d'acier et chanvre à 4 ou 6 torons, dont un bout est relié à la bouée et l'autre à une ancre en forme de champignon, un grappin à 5 branches, etc.

Les grandes profondeurs de l'Atlantique ne sont pas exemptes de parties rocheuses; car on voit à côté du grappin trois blocs de pierre, dont deux dépassent 30 kilogrammes, qui ont été retirés par 2.000 et 2.320 mètres de fond.

Les sondes s'opèrent à l'aide de la machine à sonder à *fil de piano* de Sir W. Thomson; cet appareil ne figure pas à l'exposition, mais on y voit le compas marin du savant professeur. Pour apprécier exactement le *mou* du câble, c'est-à-dire l'excès du câble réellement dépensé sur la longueur strictement nécessaire pour recouvrir le fond, MM. Siemens élongent, pendant le déroulement du câble, un fil d'acier analogue à celui qui sert à sonder, lequel en raison de sa rigidité et de son petit diamètre ne subit pas l'influence des courants et se couche sur le fond. Les quantités de fil et de câble filées dans le même temps font connaître la vitesse du navire sur le fond de la mer (et non pas à la surface, comme le loch) et celle du déroulement.

A l'Exposition universelle de 1878, M. Jamieson avait exposé un grappin à pattes articulées, qui se dégageait lui-même des obstacles fixes, tels que les roches, qu'il rencontrait sur sa route.

L'Eastern Telegraph Company n'est représentée que par le *Syphon-Recorder de Sir W. Thomson*, dont elle se sert dans son exploitation, et par la carte de son réseau. Ses câbles, parmi lesquels ceux de Marseille à Bône et Malte, etc., sont construits avec de la gutta perfectionnée de W. Smith, dont la capacité inductive spécifique est d'environ 20 pour 100 inférieure à celle de la gutta ordinaire.

The India-Rubber, gutta-percha and Telegraphs works Company (usine de Silvertown), et le Ministère

DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES exposent des spécimens des trois câbles de Marseille-Alger (500 milles). L'âme du câble de 1871, identique à celle des câbles de Cuba et de la Floride posés par la même Compagnie, renferme 48,5 kilogrammes de cuivre et 75 de gutta par mille marin; le câble est armé de seize fils d'acier homogène de $2^{mm},45$. Les âmes des câbles 1879 et 1880 renferment seulement 63 kilogrammes de gutta pour le même poids (48,5) de cuivre; le câble principal est armé de quinze fils d'acier de $2^{mm},5$.

Parmi les autres échantillons de câbles construits à Silvertown se trouve un gros câble côtier pesant 27 tonnes par mille marin, qui fait partie d'une ligne immergée dans les parages du golfe du Saint-Laurent, où le câble peut se trouver emprisonné dans la glace. La même compagnie présente une collection très variée de câbles pour torpilles à 1, 4 et 7 conducteurs. Dans le pavillon du POST-OFFICE, on trouve des spécimens de tous les câbles sous-marins appartenant au gouvernement Anglais.

Câbles légers. — On a beaucoup parlé dans ces dernières années de substituer aux câbles armés, dans les grands fonds, des câbles dits *légers* bien moins coûteux. Mais on a reculé devant les grands risques que présente l'immersion de ces câbles dont le diélectrique est sans protection contre les accidents extérieurs, et devant l'impossibilité où l'on serait de les ramener à la surface de l'eau pour les réparer. Dès les débuts de la télégraphie sous-marine, M. Allan avait imaginé un type de ces câbles, dans lequel la résistance mécanique réside dans l'intérieur de l'âme : le conducteur serait, comme on l'a proposé depuis pour un câble atlantique, un fil massif de cuivre pesant $113^{k},5$ par mille, entouré de vingt fils

d'acier de $0^{mm},6$, ce qui constituerait un conducteur sensiblement de même diamètre et de même conductibilité que celui du câble atlantique de 1866. On écarte ainsi l'objection d'un accroissement de section, qui augmenterait l'induction. Comme revêtement extérieur, un simple matelas de jute pour protéger le câble pendant l'immersion. Un pareil câble pèserait le 1/4 et coûterait les 2/3 du câble armé de 10 fils d'acier entourés de chanvre, et la tension de rupture serait représentée dans les deux cas par la même longueur de câble suspendu dans l'eau (11 milles). On répond aux objections tirées de la difficulté de relever le câble en cas de défaut, que les défauts d'isolement dans un câble une fois immergé sont très rares, et que d'ailleurs l'usure ou la corrosion de l'armature a empêché la réparation des câbles atlantiques de 1865 et 1866, tandis que les fils d'acier intérieurs sont indestructibles et assurent au câble la conservation de sa résistance mécanique. Mais il reste toujours à craindre les déchirements du diélectrique insuffisamment protégé par son matelas de chanvre, les attaques des tarets, etc. Pour éviter les chocs et la tension pendant la pose, il faudra donner beaucoup de mou, dépenser donc une grande longueur de conducteur, lequel formera alors sur le fond des coques qui se serreront peu à peu, etc.

M. J. Bourdin (France) expose un modèle de navire pour l'immersion des câbles légers. Le câble est enroulé sur une bobine horizontale; le déroulement n'est plus provoqué par le poids du câble, ni par sa tension; au contraire tout est commandé par la rotation de la bobine. Un moteur fait tourner la bobine et un organe, intermédiaire entre celle-ci et le laminoir d'arrière qui débite le câble, maintient constante la tension du fil dans l'intervalle, de manière à éviter les frottements à

bord et par suite les chances de rupture. Le câble est projeté en sens inverse de la marche du navire, qui peut donc conserver toute sa vitesse.

Machines à essayer les fils de fer, câbles, etc. — MM. CHAUVIN ET MARIN-DARBEL (France) exposent diverses machines pour les essais à la traction des fils de fer et des câbles, ainsi que pour les essais à la flexion et à la compression des métaux, boulons, pierres, etc. Dans toutes ces machines l'effort à mesurer est équilibré par l'action de la pression atmosphérique s'exerçant sur un plateau mobile suspendu à un plateau supérieur fixe. A mesure que le plateau mobile s'éloigne du plateau fixe, le vide se fait dans l'espace intermédiaire qui aspire de l'eau communiquant à une double colonne de mercure. La vis portant l'attache inférieure de la pièce à essayer est sollicitée à descendre soit par l'action d'une presse hydraulique, dans le cas des fortes machines, soit par un volant mu à la main : l'attache supérieure agit directement, ou au moyen d'un levier, dans un rapport déterminé, sur le plateau inférieur mobile. Une échelle graduée permet de lire l'effort correspondant à la variation du niveau de mercure pendant l'opération, et l'abaissement du plateau mobile pour l'effort maximum mesuré par l'appareil est assez faible pour qu'on n'ait pas à en tenir compte.

La graduation de l'échelle peut s'obtenir par le calcul, mais il est préférable de l'établir expérimentalement en suspendant des poids étalons au plateau mobile. Préalablement à l'opération, on fait varier l'échelle suivant le poids des pièces à essayer, de telle sorte que le zéro corresponde au niveau du mercure. Les allongements, flexions, compressions s'obtiennent directement en mesurant le déplacement de deux repères sur la pièce à

essayer au moyen d'un compas, ou en l'observant avec un instrument à deux microscopes, qui donne 1/20 de millimètre.

Les machines à essayer les fils de fer sont à action directe et vont de 2 à 10 tonnes; celles pour les câbles, boulons, tôles, rails, acier, etc., sont à leviers et à pompe hydraulique et vont jusqu'à 100 tonnes.

Les exposants construisent aussi des machines à essayer les papiers, fils, tissus, etc., fondées sur le même principe et d'une force de 25 à 30 kilogrammes, ainsi que le dynamomètre à levier ou balance dynamométrique de M. Chévefy pour les essais à la traction des matières textiles, fils fins métalliques, cuirs, papiers, etc., et qui sert en particulier dans les arsenaux de la marine pour les essais de recette des toiles à voiles.

J. RAYNAUD.

COMMUNICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES

EN TUNISIE

Historique. — Lorsque, vers l'année 1861, le gouvernement du bey voulut établir le télégraphe dans la régence de Tunis, il eut recours au gouvernement français. L'administration des télégraphes envoya à Tunis un directeur et un certain nombre d'employés et le service télégraphique de Tunisie fut créé. Les frais d'établissement et d'entretien furent faits par le bey qui, dans un traité passé avec le gouvernement français, s'engagea à entretenir indéfiniment le budget des télégraphes. Les agents français détachés en Tunisie étaient donc de véritables fonctionnaires du bey.

Les villes les plus importantes de Tunisie étaient, à cette époque, les différents ports de la côte, ce furent les seules qui parurent nécessiter l'établissement de bureaux. Aussi le gouvernement du bey se borna-t-il à la construction d'une ligne côtière desservant tous les ports jusqu'à Djerba, d'une ligne de Tunis à Bizerte et de la grande ligne de Tunis au Kef et à la frontière algérienne, destinée à relier la Tunisie au réseau algérien et, par suite, à l'Europe. A l'intérieur du pays, on ne construisit que de petites lignes sans importance, celles de Tunis à Béja, de Tunis à la Goulette et à la Marsa, de Tunis au Bardo.

Les bureaux exploités étaient ceux de Tunis, la Goulette, la Marsa, le Bardo, le Kef, Béja, Bizerte, Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax, Mahrès, Menzel, Houmtsouk

(Djerba). Chacun de ces bureaux était géré par un receveur dont les fonctions de télégraphiste étaient assez peu importantes, mais qui presque partout joignait à ses attributions celles de représenter les intérêts de la France. C'est en grande partie à ces receveurs que la France a dû de conserver son influence en Tunisie et, lors de l'insurrection surtout, ils ont pu, grâce à leur profonde connaissance du pays et à leur influence sur les Arabes, rendre à leurs compatriotes des services de la plus haute importance.

Au moment de l'occupation de la Tunisie par nos troupes, l'ancien réseau tunisien se trouva partout détruit. La plupart des lignes avaient été coupées par l'insurrection, les receveurs étaient chassés de leurs bureaux et le service complètement désorganisé. L'administration française dut immédiatement s'occuper, en son nom et au nom du bey, de rétablir les communications interrompues. Aussitôt que le pays fut à peu près pacifié, elle rétablit pour le gouvernement tunisien les anciennes lignes et les anciens bureaux. Mais ce réseau ne suffisait plus : La Tunisie était couverte de troupes, tous les points stratégiques étaient occupés par des corps souvent considérables, il était de la plus haute importance de relier entre elles toutes ces garnisons disséminées en pays presque ennemi. On s'en occupa immédiatement, et comme ces nouvelles lignes desservaient plus spécialement les intérêts militaires, c'est le département de la guerre qui se chargea de les construire : les colonnes d'invasion avaient amené avec elles des sections de télégraphie militaire qui, pendant toute la campagne, les avaient reliées, au moyen de lignes volantes, avec les divers points voisins de l'Algérie ou de la côte. Lorsque ces colonnes furent cantonnées aux lieux d'occupation,

es sections de télégraphie militaires eurent pour mission de remplacer ces lignes volantes par des lignes plus stables, et ce sont elles qui construisirent le réseau supplémentaire destiné à relier les camps avec les villes. C'est ainsi que se forma un second réseau, appartenant à l'autorité militaire et exploité par elle, réseau qui a toujours continué depuis à fonctionner parallèlement à l'ancien.

Ce double ensemble de lignes, quoique déjà assez développé, n'était pas suffisant encore pour assurer les communications avec les points reculés de l'intérieur. L'autorité militaire le compléta en lui adjoignant un troisième réseau, le réseau optique, qui double en partie les deux autres, qui relie au réseau général des postes très éloignés et très difficiles à atteindre, et qui surtout présente l'immense avantage de pouvoir, en cas d'insurrection, se substituer aux autres lignes et assurer aux postes armés des communications indestructibles.

En même temps qu'on réorganisait le service télégraphique, on organisait aussi le service postal (*). Le directeur des télégraphes a reçu dans ses attributions la

(*) L'origine du service postal en Tunisie date de l'époque où les anciennes messageries impériales ont commencé à porter d'une manière régulière les lettres entre Marseille, Bone et la Goulette. Ces lettres étaient déposées au consulat de France, et un employé de ce consulat faisait le service de la poste, consistant simplement à ouvrir et fermer les sacs, et à faire la distribution au guichet. Le service des ports de la côte se faisait alors d'une manière tout à fait irrégulière: on confiait simplement les lettres à un bateau à voiles ou à un voyageur, et elles arrivaient quand elles pouvaient à leur destination. Souvent un négociant envoyait à lui seul un piéton chargé de son courrier, et payait jusqu'à cent piastres (60 fr.) le transport d'une lettre de Sfax à Tunis. Lorsque la colonie européenne de Sfax fut devenue plus nombreuse, on créa un service postal à peu près régulier : un européen recevait les lettres, en formait un paquet, les donnait à un piéton arabe qui les portait à Tunis, et rapportait les lettres que les paquebots y avaient laissées. Ce piéton faisait la route en courant avec une incroyable rapi-

direction du service des postes et il se trouve encore actuellement réunir les fonctions de directeur des postes et de directeur des télégraphes. De même, on a confié le service postal aux receveurs des différents bureaux, service bien restreint d'abord, mais qui s'est peu à peu constitué et fonctionne aujourd'hui presque partout comme dans les bureaux français.

Néanmoins on ne peut pas dire que le service postal soit encore complètement installé en Tunisie, puisque le monopole n'y existe pas. L'Italie a maintenu dans la plupart des ports les bureaux de poste italiens qu'elle y avait avant l'occupation. Ces bureaux font, il est vrai, un service bien moins important que les bureaux français, mais leur présence constitue une véritable concurrence. Ils ont leurs transports sur les paquebots italiens, ils vendent des timbres italiens et la population italienne des ports à grande tendance à les utiliser. En certains endroits, il y a même échange de dépêches entre la poste française et la poste italienne. Cet état de choses est évidemment appelé à être modifié dans un assez bref délai, car il peut amener à l'administration d'assez sérieux embarras.

Réseau civil. — Voici la liste des lignes civiles existant et exploitées au 1er octobre dernier.

dité, et n'employait que quatre jours à se rendre de Sfax à Tunis, tandis que les voitures mettaient cinq jours à parcourir la même distance.

Un peu plus tard, un petit vapeur de commerce de la compagnie Rubatino, de Gênes, fit un petit cabotage régulier, et se chargea des lettres, mais sans aucune garantie. L'agent de la compagnie prenait les lettres et les distribuait sans les timbrer. Ce petit paquebot desservait les ports du nord de la côte Tunisienne, et était d'un tirant d'eau assez faible pour pouvoir passer dans le canal des Kerkennahs.

Enfin, en 1880, le service actuel par voie de mer entre la Goulette, Sousse, Monastir, Mahdiah, Sfax, Djerba, Tripoli, fut installé par les soins des agents français des postes. Quelques temps après, Gabès fut également compris dans ce service.

Lignes aériennes :

Tunis, la Goulette.

Tunis, la Marsa.

Tunis, le Bardo.

Tunis, Bizerte.

Tunis, Béja (ville).

Tunis, le Kef, Constantine, Alger (fil n° 3). Le tracé de cette longue ligne de Tunis à Alger, qui fonctionne souvent en direct sur une longueur de près de 1000 kilomètres, semble assez défectueux : au lieu de suivre, la route la plus courte par Guardimaou, Constantine, Sétif et Beni-Mansour, elle descend au sud pour passer au Kef, puis à partir de Constantine remonte très loin dans le nord et passe par Milah, Djidjelli, Bougie et Akbou. Non seulement ce tracé l'allonge beaucoup, mais, en la plaçant de Djidjelli à Bougie sur le bord même de la mer, il la met dans des conditions d'isolement très défavorables. Souvent en hiver des pertes considérables se déclarent dans ce tronçon de ligne côtière et la communication directe de Tunis à Alger devient impossible. Jadis, une partie de ce fil était de 3 millimètres de diamètre; tout récemment on vient de rétablir sur toute sa longueur le diamètre normal des grandes lignes, mais ce n'est pas suffisant. Le service de Tunis souffre encore fort souvent, et la seule manière de l'améliorer serait de changer complètement le tracé de la ligne en le raccourcissant et l'éloignant de la mer.

Guardimaou, Soukarras.

Tunis, Sousse.

Tunis, Sousse, et la côte jusqu'à Gabès. Le tronçon de cette ligne réunissant Gabès à Djerba, au moyen d'un petit câble immergé à Agim, vient tout récemment d'être reconstruit.

Câbles sous-marins :

Bizerte à la Calle.

Bizerte à Bône.

Ces lignes participent à la classification et à la nomenclature des lignes d'Algérie :

1° *Fils principaux de grande communication* reliant deux chefs-lieux de département (en gros fil).

Numéros impairs de 1 à 49.

2° *Fils principaux de moyenne communication* reliant deux chefs-lieux de départements (en fil de 3 ou 4 millimètres).

Numéros pairs de 2 à 50.

3° *Fils départementaux de grande communication* reliant le chef-lieu de département à un bureau principal.

En Tunisie, ces fils portent les numéros impairs de 401 à 499.

4° *Fils départementaux de moyenne communication* reliant deux bureaux d'un même département.

En Tunisie, numéros pairs de 402 à 498.

Dans chaque catégorie, ces fils sont numérotés autour d'un bureau déterminé dans l'ordre où on les rencontre en tournant autour du bureau de l'est à l'ouest en passant par le sud.

Ce réseau, quoique récemment reconstruit, était encore, au mois d'octobre dernier, en très mauvais état. La plupart des lignes ont été réparées à la hâte après l'insurrection par des équipes militaires, aussi presque toutes les soudures sont-elles défectueuses. Beaucoup de tronçons ont été autrefois, par prudence, munis d'isolateurs blindés du système Brookes, mais ces isolateurs, dont la cloche est en verre, sont encore trop fragiles, et

Bône
Tabarka
La Calle
Biserta
Mateur
La Marsa
La Goulette
Bardo
TUNIS
Hammam-Life
Aïn Draham
Camp de Béja
Béja
La Manouba
Tebourba
Gare de Béja
Medjez el bab
Guardimaou
Souk-Ahras
Souk el Arba
Nebeur
Zaghouan
Mt Zaghouan
Gabès
DJERBA
Ras el oued
Camp
Djara
Zarzis
Annales

aussitôt qu'il sont cassés, ils laissent tomber le fil à terre.

Aussi ces lignes tunisiennes, surtout celles du sud, sont-elles dans des conditions déplorables de conductibilité et d'isolement. Pendant tout l'été dernier, elles ont été le siège de phénomènes bien singuliers : A certains moments de la journée, sur la ligne de Sfax à Sousse par exemple, le courant diminuait tout à coup et pendant des heures, restait trop faible pour actionner l'électro-aimant d'un Morse. Puis il reprenait peu à peu son intensité normale et la transmission pouvait de nouveau s'effectuer. Il en résultait des embarras et des pertes de temps considérables. Il est vrai que, vers cette même époque, un atelier d'ouvriers télégraphistes a été envoyé tout le long de cette ligne côtière pour refaire toutes les soudures et remplacer les isolateurs Brookes par des isolateurs ordinaires. Après cette réparation si nécessaire, la ligne a dû se trouver dans des conditions à peu près normales.

Ces lignes traversent des régions très peu sûres; elles sont assez souvent coupées et il est alors fort difficile de les faire réparer. Il faut chaque fois une petite expédition militaire : On ne laisse une équipe d'ouvriers s'engager à une cinquantaine de kilomètres de toute ville que si elle est accompagnée par une compagnie d'infanterie. De ce peu de sécurité résultent de grands embarras et l'impossibilité presque absolue de faire de petites réparations. En présence de cette difficulté continuelle de communication entre Tunis et les grandes villes de la côte et de la possibilité d'un isolement de plusieurs jours en cas de rupture d'un fil, le ministère de la guerre a, l'automne dernier, exigé la pose d'un câble côtier constituant une communication plus certaine et moins

exposée. Il a été dès lors décidé que le ministère des postes et télégraphes poserait le câble et que le ministère de la guerre en payerait les frais. Le câble devait relier Sousse, Sfax, Gabès et Djerba. A première vue, il eut semblé que le tracé du câble devait rester parallèle à la côte et relier Sousse à Sfax, Sfax à Gabès et Gabès à Djerba. Mais, en discutant la question, l'état-major général de Tunis reconnut qu'il était préférable de changer cet itinéraire en celui-ci : de Sousse à Sfax, de Sfax à Djerba et de Djerba à Gabès, et voici quelles raisons il fit valoir pour motiver ce changement :

Le poste avec lequel il est de toute importance de communiquer en tout temps est Djerba, dont la garnison est la plus avancée, la plus éloignée, et forme une sorte d'observatoire chargé de surveiller la frontière de Tripolitaine. Le premier tracé ne donnerait à Djerba qu'une seule communication avec le continent, et dans le cas où l'un des câbles reliant Gabès à Sousse se fût brisé, la communication avec Djerba devait emprunter les tronçons de lignes terrestres les plus en danger de toute la Tunisie, ceux qui traversent des portions de Sahara entre Sfax et Gabès. Cette communication eût été tout à fait aventurée. Le second itinéraire, au contraire, tout en laissant à Gabès deux communications (une par terre et une par mer), en donne aussi deux à Djerba, l'une par Sfax, l'autre par Gabès. La première par les câbles de Sfax et de Sousse peut être considérée comme absolument sûre.

Au point de vue de l'administration des télégraphes, les deux itinéraires se valent : l'important pour l'exploitation est d'avoir le tronçon de câble de Sousse à Sfax qui peut débarrasser la ligne aérienne, et ce tronçon fait partie des deux tracés.

Au point de vue économique enfin, le second tracé est encore préférable, car il est plus court que le premier. En outre, le câble sur les deux tronçons de Sfax à Djerba et de Djerba à Gabès, traversant le golfe de Gabès, sera en eau plus profonde que s'il longeait la côte. Il se présentera normalement au flot de marée, très important dans cette région, ses conditions de sécurité seront donc plus grandes.

Aussi, tout considéré et discuté est-ce à ce deuxième tracé que l'administration, de concert avec la guerre, s'est arrêtée. Le câble a été immergé du 6 octobre au 14 novembre de l'année dernière. Un autre petit câble a été posé en même temps entre Agir (côte orientale de Djerba) et Zarziss. La ville de Zarziss, à quelques kilomètres de la frontière tripolitaine, n'était point encore occupée. Elle l'est actuellement et un bureau militaire a dû y être installé. Ces quatre câbles et les deux câbles du nord de la Tunisie, quoique posés sur la demande du ministère de la guerre et à ses frais, font réellement partie du réseau télégraphique civil : ils desservent tous, sauf celui de Zarziss, des bureaux purement civils et sont exploités par les agents de l'administration des télégraphes.

Bureaux civils. — L'installation des bureaux civils laissait en général assez à désirer lors de l'ancienne administration des télégraphes tunisiens. Au début de l'occupation, ces bureaux ont été repris, tels qu'ils étaient auparavant, mais le mouvement des dépêches ayant augmenté dans des proportions fort considérables et le service postal étant venu s'adjoindre au service télégraphique, ces bureaux se sont presque tous trouvés fort insuffisants. Tout récemment l'administration française s'est occupée de remédier à cette insuffisance, elle a aug-

menté les bureaux des principales villes et a accordé les crédits nécessaires pour améliorer peu à peu l'installation de tous les autres bureaux. C'est ainsi que le bureau central de Tunis a dû être complètement remanié et que les bureaux de Sousse et de Gabès ont quitté les locaux par trop restreints qu'ils occupaient pour être installés dans des bâtiments plus vastes et plus commodes.

Réseau militaire. — Voici le tableau des lignes militaires qui fonctionnaient au mois de novembre dernier :

Tunis à Hammam-Life.

Tunis, la Goulette.

Tunis, Guardimaou (le long de la ligne du chemin de fer. Cette ligne dessert les postes militaires établis dans les stations de la ligne).

Tunis, Mateur, Bizerte.

Gare de Béja, ville de Béja.

Béja, Aïn-Draham.

Aïn-Draham, Guardimaou.

Kef, Dir-el-Kef.

Sousse, Kairouan.

H umt-Souk, Agir.

Ces lignes desservent 22 bureaux :

Tunis (état-major). — Hammam-Life. — La Goulette. — Bizerte. — La Manouba. — Tebourba. — Medjez-el-Bab. — Béja (gare). — Souk-el-Araba. — Guardimaou. — Tabarka. — Aïn-Draham. — Mateur. — Teboursouk. — Bordj-Messaoudi. — Dir-el-Kef. — Le Kef. — Kairouan. — Sidi-el-Hani. — Oued-Laya. — Sousse. — Zarziss.

Les lignes militaires sont construites les unes en fil nu sur poteaux, les autres en câble militaire sur perches ou sur poteaux. Ces dernières laissent à désirer : le câble s'allonge, se détruit à l'air et finit par se couper. Ces

lignes en câble sont d'ailleurs toutes destinées à être remplacées par des lignes en fil nu sur isolateurs.

Les bureaux militaires sont exploités par des cavaliers télégraphistes. Les seuls appareils qu'ils emploient sont des morses de campagne et des parleurs. Lorsque plusieurs postes se trouvent desservis par une même ligne, leurs appareils sont en général montés en embrochage.

A ce réseau électrique se joint un petit réseau téléphonique dont voici le tracé :

Tunis, de l'état-major général à la division.

— de la division à la subdivision.

De Tunis à la Goulette.

De la Goulette au palais Kereddine.

De Béjà ville à Béjà camp.

Du camp de Zaghouan au poste optique du Zaghouan.

Ce réseau est construit en câble militaire. Les téléphones employés sont ceux de l'armée.

Réseau militaire optique. — On peut dire que le poste central de ce grand réseau est le Zaghouan. Du haut de cette belle montagne on voit le quart de la Tunisie et on communique avec cinq points importants de la région. La carte ci-jointe donne en partie seulement le réseau optique : on n'a pu y marquer que les points dont les noms se trouvent sur les cartes de Tunisie. Quelques postes ne sont portés sur aucune carte, et faute de renseignements géographiques suffisants on a dû les omettre.

Voici d'ailleurs la désignation complète des postes optiques et des directions dans lesquelles ils communiquent :

Montagne du Zaghouan communique avec cinq postes :

le camp de Zaghouan, Tunis, Sousse, Kairouan, Dir-el-Kef.

Dir-el-Kef, avec six postes : Zaghouan, Aïn-Draham, Souk-el-Arba, Nebeur, Bordjmessaoudi, Ellez.

Ellez, avec deux postes : Dir-el-Kef, Souk-el-Djema.

Souk-el-Djema, avec Ellez, Kezra, le Kef.

Kairouan, avec Zaghouan et Sirnarsalla.

Ce réseau est tout entier compris dans la Tunisie du nord. La Tunisie du sud reste encore en dehors de toute communication. Cependant à la fin de l'automne dernier une brigade télégraphique a exploré le sud de la province de Constantine, cherchant des postes pour communiquer avec une autre brigade opérant dans le sud de la Tunisie. Ces efforts ont été heureusement couronnés de succès : la communication directe est aujourd'hui assurée entre le Djebel-Hong, montagne du territoire algérien, et le Djebel-Orbata des environs de Gafsa. Des postes optiques ont dû être établis depuis, en ces deux points. Par le Djebel-Hong, le réseau du sud de la Tunisie pourra donc être rélié au grand réseau étudié cette année dans le sud de Constantine, et peut-être même plus tard au réseau optique qui fonctionne déjà dans le sud Oranais.

Ces communications optiques se font courramment à 70 et 80 kilomètres. On emploie en général pour ces grandes distances, des appareils télescopiques de grandes dimensions ; mais souvent aussi on se sert de simples appareils de campagne. La transmission se fait très régulièrement en plein jour avec la lumière solaire, et la manipulation est presque aussi rapide que celle d'un morse ordinaire. Les cavaliers télégraphistes qui manœuvrent ces appareils ont atteint une habileté réellement très grande qui rend ce mode de transmission tout à fait

pratique. Cette grande vitesse de transmission est facilitée par ce fait que l'employé recevant, accuse réception de chaque signal en envoyant un point lumineux à son correspondant. Le correspondant peut alors accélérer sa manipulation; tant qu'il voit les accusés de réception, il est sûr d'être lu.

Les postes de télégraphie optique consistent en petites maisons bâties dans de bonnes conditions de solidité. De grandes fentes percées dans les murs permettent d'envoyer le rayon lumineux dans la direction précise avec laquelle il faut communiquer.

Chaque poste optique doit envoyer tous les jours au moins une dépêche à son correspondant. Tous les jours chaque poste transmet à l'état-major général une depêche indiquant l'état des communications optiques. Le ciel étant très pur en Tunisie, il est très rare que deux postes ne puissent échanger leur dépêche dans une journée.

La direction générale des deux réseaux télégraphiques militaires est aux mains d'un capitaine d'état-major résidant à Tunis. Ce capitaine est assisté d'un sous-chef de section de télégraphie militaire. Les principaux postes de cavaliers ou de fantassins télégraphistes sont dirigés par des télégraphistes ou des chefs de poste. Les taxes des dépêches sont perçues par les employés militaires et versées par l'administration militaire à l'administration civile. En dehors de ces perceptions, l'administration des postes et télégraphes reste complètement étrangère au fonctionnement du réseau militaire.

Il existe encore dans toute la région méridionale de la Tunisie de très importants postes d'occupation, qui, placés trop loin, en plein désert, n'ont pu encore être munis de bureaux télégraphiques. Le plus important de ces points est Gafsa. L'administration des télégraphes

s'occupe activement de combler aussi vite que possible cette lacune: un sous-ingénieur vient d'être attaché au service de la Tunisie pour la construction des nouvelles lignes projetées. La première de ces lignes est déjà commencée, elle reliera le poste de Gafsa à la ville algérienne de Tebessa. Elle aura 200 kilomètres environ de longueur et sera construite sur poteaux. Elle sera certainement achevée avant l'été prochain. Aussitôt qu'elle sera terminée, une autre ligne sera dirigée vers Kairouan et reliera ainsi directement à l'Algérie les ports tunisiens du sud. Tel est l'état actuel des communications télégraphiques en Tunisie: dans toute la partie septentrionale de la régence, région la plus peuplée et la plus importante, le réseau présente un développement aussi complet qu'il est possible de le désirer. Dans la région méridionale, au contraire, les lignes télégraphiques font encore à peu près défaut, mais leur création est en voie active d'exécution.

(Extrait du journal de mission de seconde année de M. de Nerville, élève ingénieur.)

SUR LA MESURE

DE LA RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE DES FILS

PAR LA MÉTHODE DE LA BOUCLE

Pour mesurer la résistance de plusieurs conducteurs métalliques parallèles et d'égale longueur, on trouve commode de *boucler* ces conducteurs successivement deux à deux, c'est-à-dire de les réunir successivement deux à deux à l'une des extrémités par un conducteur de résistance négligeable, et de mesurer à l'autre extrémité la résistance du circuit constitué par l'ensemble de chaque couple de conducteurs. Ainsi, ayant n fils de résistance x_1, x_2,... x_n, on boucle successivement les fils 1 et 2, 2 et 3,..., $n-1$ et n, et enfin n et 1. Soient w_1, w_2,.. . w_n les résistances trouvées. On pose

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= w_1, \\ &\cdots\cdots \\ x_{n-1} + x_n &= w_{n-1}, \\ x_n + x_1 &= w_n. \end{aligned}$$

Ces n équations permettent de calculer les valeurs des n inconnues x_1, x_2,... x_n.

On dispose de procédés de mesure, tels que le pont de Wheatstone, permettant d'apprécier w_1, w_2,... w_n avec une grande précision; il semble donc que, si l'on désigne par l la longueur des fils, les quotients $\frac{x_1}{l}$, $\frac{x_2}{l}$,... $\frac{x_n}{l}$ soient des valeurs très approchées des résistances de

chacun d'eux par unité de longueur. Mais il importe d remarquer que les quantités $w_1, w_2, \ldots w_n$ ne sont que le résistances *apparentes* de chacun des circuits bouclés Elles sont inférieures aux résistances véritables, à cause des dérivations du courant qui se produisent, d'une part d'un fil à l'autre, d'autre part de chacun d'eux au réservoir commun. Par conséquent, les nombres $\frac{x_1}{l}, \frac{x_2}{l}, \ldots \frac{x_n}{l}$ ne sont que des valeurs approchées par défaut, et il serait illusoire de compter obtenir les résultats avec une exactitude égale à celle qu'on peut atteindre dans la mesure d'une résistance métallique.

Toutefois, il n'est pas impossible de bénéficier de la sensibilité des méthodes de mesure dont nous disposons. Je me bornerai au cas de deux conducteurs ayant la même conductibilité c et la même section ω.

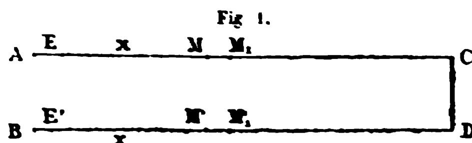
Soient r la résistance du fil par unité de longueur, c'est-à-dire l'inverse de $c\omega$;

R la résistance d'isolement *relatif* des deux fils par unité de longueur;

ρ la résistance d'isolement ordinaire de chacun d'eux par unité de longueur;

l la longueur de chacun d'eux.

Fig. 1.



I. Étudions d'abord la distribution du potentiel l long du circuit, dans le cas où les extrémités A et B de deux conducteurs en relation avec les appareils de mesure sont à des potentiels respectivement égaux à E et E

les autres extrémités C et D étant réunies entre elles par un fil sans résistance.

Soient u et u' potentiels aux points M et M', situés à la même distance x de A et de B. Si l'on considère, dans le fil AC, les deux sections M et M_1, distantes de Δx, l'excès de la quantité d'électricité qui traverse M sur celle qui traverse M_1 pendant l'unité de temps est, d'après la théorie d'Ohm, $c\omega \frac{d^2u}{dx^2} \cdot \Delta x$ ou $\frac{1}{r} \frac{d^2u}{dx^2} \cdot \Delta x$.

Cette expression représente la somme de la portion de courant dérivée sur le second fil, soit $\frac{\Delta x}{R}(u - u')$, et de la portion dérivée à la terre, soit $\frac{\Delta x}{\rho} u$.

De même, si l'on considère dans le fil BD, les deux sections M' et M'_1, distantes de Δx, l'excès de la quantité d'électricité qui traverse M' sur celle qui traverse M'_1 est $\frac{1}{r} \frac{d^2u'}{dx^2} \Delta x$, et ceci est la somme de la portion de courant dérivée sur le premier fil, soit $\frac{\Delta x}{R}(u' - u)$, et de la portion dérivée à la terre, soit $\frac{\Delta x}{\rho} u'$.

On a donc les deux équations différentielles

$$\frac{1}{r} \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{1}{R}(u - u') + \frac{1}{\rho} u,$$

$$\frac{1}{r} \frac{d^2u'}{dx^2} = \frac{1}{R}(u' - u) + \frac{1}{\rho} u'.$$

Remplaçons ces deux équations par celles qu'on obtient : 1° en les ajoutant membre à membre ; 2° en les retranchant membre à membre :

$$\frac{1}{r} \frac{d^2(u + u')}{dx^2} = \frac{1}{\rho}(u + u'),$$

$$\frac{1}{r} \frac{d^2(u - u')}{dx^2} = \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{\rho}\right)(u - u');$$

d'où l'on déduit en posant $\frac{\rho}{r} = k^2$, et $\frac{1}{r\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{\rho}\right)} = h^2$, les deux équations

$$u + u' = Ce^{\frac{x}{k}} + C'e^{-\frac{x}{k}},$$
$$u - u' = C_1e^{\frac{x}{k}} + C'_1e^{-\frac{x}{k}}.$$

Il en résulte

$$(A) \quad \begin{cases} u = \frac{1}{2}\left(Ce^{\frac{x}{k}} + C'e^{-\frac{x}{k}} + C_1e^{\frac{x}{k}} + C'_1e^{-\frac{x}{k}}\right), \\ u' = \frac{1}{2}\left(Ce^{\frac{x}{k}} + C'e^{-\frac{x}{k}} - C_1e^{\frac{x}{k}} - C'_1e^{-\frac{x}{k}}\right). \end{cases}$$

Pour déterminer les constantes C, C', C_1, C'_1, il faut écrire :

1° Que le potentiel en A est égal à $E[(u)_0 = E]$;

2° Que le potentiel en B est égal à $E'[(u')_0 = E']$;

3° Que le potentiel en C et en D a la même valeur $[(u)_l = (u')_l]$;

4° Que l'intensité du courant en C et en D a la même valeur, ce qui s'exprime par la relation $\left(\frac{du}{dx}\right)_l = -\left(\frac{du'}{dx}\right)_l$.

On obtient ainsi les quatre équations de condition

$$\frac{1}{2}(C + C' + C_1 + C'_1) = E,$$
$$\frac{1}{2}(C + C' - C_1 - C'_1) = E';$$
$$C_1e^{\frac{l}{h}} + C'_1e^{-\frac{l}{h}} = 0,$$
$$Ce^{\frac{l}{k}} - C'e^{-\frac{l}{k}} = 0.$$

En substituant à C, C', C_1, C'_1 leurs valeurs ainsi déterminées, les expressions de u et u' deviennent les sui-

vantes :

$$(1)\qquad u=\frac{1}{2}\left[(E+E')\frac{e^{\frac{x-l}{k}}+e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}}+e^{-\frac{l}{k}}}-(E-E')\frac{e^{\frac{x-l}{h}}-e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}}-e^{-\frac{l}{h}}}\right],$$

$$u'=\frac{1}{2}\left[(E+E')\frac{e^{\frac{x-l}{k}}+e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}}+e^{-\frac{l}{k}}}+(E-E')\frac{e^{\frac{x-l}{h}}-e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}}-e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

Ces deux équations permettent de calculer la valeur du potentiel en un point quelconque de chacun des conducteurs, mais il est aisé de voir qu'il suffit de recourir à la formule (1), en y faisant varier x depuis zéro jusqu'à $2l$; car si, dans la valeur de u, on remplace x par $2l-x$, on retrouve l'expression u'.

Cas particuliers :

1° Si les deux conducteurs sont parfaitement isolés, tant vis-à-vis de la terre que vis-à-vis l'un de l'autre, on a $\rho=R=\infty$; il en résulte $k=h=\infty$. En introduisant ces hypothèses dans la valeur précédente de u, et levant, par les règles connues, l'indétermination qui se présente, on trouve

$$(2)\qquad u=\frac{1}{2}\left[E+E'-(E-E')\frac{x-l}{l}\right].$$

C'est l'expression bien connue du potentiel comme fonction linéaire de la distance comptée le long du conducteur.

2° S'il existe seulement des dérivations à la terre, mais que les deux conducteurs soient parfaitement isolés l'un rapport à l'autre, on a $R=\infty$, et il en résulte $h=k=\sqrt{\frac{\rho}{r}}$. La valeur de u devient alors la suivante :

$$(3)\qquad u=\frac{E\left(e^{-\frac{x-2l}{k}}-e^{\frac{x-2l}{k}}\right)+E'\left(e^{\frac{x}{k}}-e^{-\frac{x}{k}}\right)}{e^{\frac{2l}{k}}-e^{-\frac{2l}{k}}}.$$

Si le point B est en communication immédiate avec la terre, on a $E' = 0$, et alors la valeur de u se réduit à

$$(3\ bis) \qquad u = E \frac{e^{-\frac{x-2l}{k}} - e^{\frac{x-2l}{k}}}{e^{\frac{2l}{k}} - e^{-\frac{2l}{k}}}.$$

Cette équation représente une courbe bien connue. On se trouve, en effet, dans le cas étudié par M. Raynaud, dans les numéros de septembre-octobre 1874 et de mai-juin 1875 des *Annales télégraphiques.*

3° S'il y a seulement dérivation d'un conducteur à l'autre, mais non des conducteurs au réservoir commun (cas qui peut se présenter dans certaines expériences de laboratoire), on a $\rho = \infty$, et il en résulte $k = \infty$ et $h = \sqrt{\frac{R}{2r}}$. La valeur de u est alors

$$(4) \qquad u = \frac{1}{2}\left[E + E' - (E - E') \frac{e^{\frac{x-l}{h}} - e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

Revenons au cas général, auquel convient la formule (1).

L'intensité I du courant en un point quelconque du circuit est donnée par la formule

$$(5) \qquad I = -c\omega \frac{du}{dx}$$

$$= -\frac{1}{2r}\left[(E + E')\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{x-l}{k}} - e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} - (E - E')\frac{1}{h}\frac{e^{\frac{x-l}{h}} + e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}\right],$$

dans laquelle x reçoit des valeurs variant de zéro à $2l$.

II. Il est utile, pour le but que nous nous proposons, d'étudier la distribution du potentiel le long des deux conducteurs, dans le cas où les deux extrémités C et D

sont isolées l'une de l'autre, et où les extrémités A et B ont des potentiels respectivement égaux à E_1 et E'_1.

Les valeurs de u et u' sont encore de la forme (A), mais, pour déterminer les constantes C, C', C_1, C'_1, il faut écrire :

1° Que le potentiel en A est égal à $E_1[(u)_0 = E_1]$;

2° Que le potentiel en B est égal à $E'_1[(u')_0 = E'_1]$;

3° Que l'intensité du courant est nulle en C $\left[\left(\frac{du}{dx}\right)_l = 0\right]$;

4° Que l'intensité du courant est nulle en D $\left[\left(\frac{du'}{dx}\right)_l = 0\right]$.

On a ainsi les quatre équations de condition

$$\frac{1}{2}(C + C' + C_1 + C'_1) = E_1,$$
$$\frac{1}{2}(C + C' - C_1 - C'_1) = E'_1$$
$$Ce^{\frac{l}{k}} - C'e^{-\frac{l}{k}} = 0,$$
$$C_1e^{\frac{l}{h}} - C'_1e^{-\frac{l}{h}} = 0.$$

Les valeurs du u et u' deviennent alors

$$(6)\quad u = \frac{1}{2}\left[(E_1 + E'_1)\frac{e^{\frac{x-l}{k}} + e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} + (E_1 - E'_1)\frac{e^{\frac{x-l}{h}} + e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}\right],$$

$$u' = \frac{1}{2}\left[(E_1 + E'_1)\frac{e^{\frac{x-l}{k}} + e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} - (E_1 - E'_1)\frac{e^{\frac{x-l}{h}} + e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

Il suffit encore ici d'avoir recours à la première de ces deux équations, dans laquelle on fera varier x depuis zéro jusqu'à $2l$. Cette équation représente une courbe qui a pour ordonnée la somme des ordonnées de deux chaînettes.

L'intensité du courant en un point de l'un ou l'autre

des deux conducteurs est donnée par la formule

$$(7) \qquad I_1 = -c\omega\left(\frac{du}{dx}\right)$$

$$= -\frac{1}{2r}\left[(E_1+E'_1)\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{x-l}{k}}-e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}}+e^{-\frac{l}{k}}}+(E_1-E'_1)\frac{1}{h}\frac{e^{\frac{x-l}{h}}-e^{-\frac{x-l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}}+e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

III. Imaginons enfin que les extrémités A et B soient maintenues toutes deux au potentiel E_2, les extrémités C et D étant isolées. Dans ce cas, l'existence des dérivations d'un fil à 'autre n'exerce plus d'influence, puisque les points des deux fils situés à la même distance de A et de C sont au même potentiel. Tout se passe donc comme si l'on avait un conducteur unique de conductibilité $2c\omega$, dont l'isolement par unité de longueur soit $\frac{\rho}{2}$, et on a l'équation différentielle.

$$2c\omega\frac{d^2u}{dx^2}\cdot\Delta x = \frac{2}{\rho}\,u\cdot\Delta x,$$

d'où l'on déduit facilement l'équation de la chaînette

$$(8) \qquad u = E_2\frac{e^{\frac{x-l}{k}}+e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}}+e^{-\frac{l}{k}}}$$

et l'intensité du courant total qui traverse une section du *système des deux conducteurs* est alors

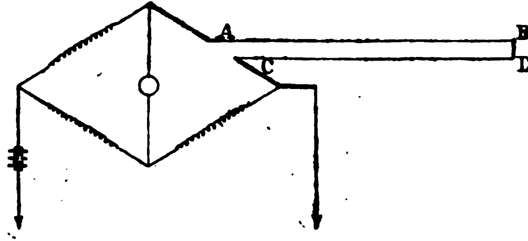
$$(9) \qquad I_2 = -2c\omega\left(\frac{du}{dx}\right) = -\frac{2}{r}\frac{E_2}{k}\frac{e^{\frac{x-l}{k}}-e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}}+e^{-\frac{l}{k}}}.$$

Ceci posé, faisons les expériences suivantes se rapportant aux trois cas examinés :

I. Mesurons la résistance du circuit bouclé, par exemple, au moyen du pont de Wheatstone, en adoptant la dispo-

sition représentée ci-contre. Le potentiel E′ au point C est nul, et, en appliquant la formule (5), on a, pour l'in-

Fig. 2.



tensité $(I)_A$ au point A,

$$(10)\qquad (I)_A = \frac{1}{2r}E\left[\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} + \frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

Soit w la résistance trouvée. On a $(I)_A w = E$, d'où

$$(11)\qquad \frac{1}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} + \frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}} = \frac{2r}{w}.$$

II. Les choses étant dans le même état, on supprime la communication métallique entre B et D, et on mesure la nouvelle résistance W_1. D'après la formule (7), on a, pour la nouvelle intensité au point A,

$$(13)\qquad (I_1)_A = \frac{1}{2r}E_1\left[\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} + \frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}\right].$$

On a d'ailleurs $(I_1)_A . W_1 = E_1$. Il en résulte

$$(13)\qquad \frac{1}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} + \frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}} = \frac{2r}{W_1}.$$

III. Enfin, les extrémités A et C étant réunies métalli-

quement, et les extrémités B et D isolées, on mesure la résistance d'isolement W_2 du système des deux fils.

D'après la formule (9), on a, pour l'intensité $(I_2)_{A,B}$

$$(I_2)_{A,B} = \frac{2}{r}\frac{E_2}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}}; \tag{14}$$

d'ailleurs, $(I_2)_{A,B}.W_2 = E_2$. Par suite

$$\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}} = \frac{r}{2W_2}. \tag{15}$$

Les équations (11), (13) et (15) permettent de calculer r. Pour cela, retranchons successivement (15) de (11), puis de (13); nous obtenons

$$\frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}} = r\,\frac{4W_2 - w}{2W_2 w} = r.\alpha, \tag{16}$$

$$\frac{1}{h}\frac{e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}}{e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}} = r\,\frac{4W_2 - W_1}{2W_2 W_1} = r.\beta. \tag{17}$$

Divisant membre à membre les équations (16) et (17), nous avons

$$\frac{\left(e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}\right)^2}{\left(e^{\frac{l}{h}} - e^{-\frac{l}{h}}\right)^2} = \frac{\alpha}{\beta}.$$

d'où

$$\frac{\left(e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}}\right)^2}{4} = \frac{\alpha}{\alpha - \beta},$$

$$e^{\frac{l}{h}} + e^{-\frac{l}{h}} = 2\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha - \beta}} = 2\gamma,$$

ce qui peut s'écrire

$$e^{\frac{2l}{h}} - 2\gamma e^{\frac{l}{h}} + 1 = 0.$$

On en tire

$$e^{\frac{l}{h}} = \gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

et par suite

$$(18) \qquad h = \frac{l \times 0{,}43429}{\log_{10}(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})}.$$

Si maintenant l'on multiplie membre à membre les équations (16) et (17), on a

$$(19) \qquad \frac{1}{h^2} = r^2 \cdot \alpha\beta,$$

d'où finalement

$$(20) \qquad r = \frac{1}{\sqrt{\alpha\beta}} \frac{\log_{10}(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})}{l \times 0{,}43429}.$$

Remarque. — On peut également, des expériences précédentes, déduire les valeurs de ρ et de R; mais cette recherche conduit à résoudre une équation transcendante, de la forme

$$z \cdot \frac{e^z - e^{-z}}{e^z - e^{-z}} = m.$$

Pour éviter ce calcul, on peut faire une nouvelle expérience en laissant les extrémités A et C réunies métalliquement, et mettant les extrémités B et D en communication avec la terre. L'expression du potentiel est alors

$$(21) \qquad u = E_3 \frac{e^{-\frac{x-l}{k}} - e^{\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}},$$

E_3 étant le potentiel commun aux points A et C. Quant à l'intensité du courant qui traverse une section du *système des deux conducteurs*, c'est

$$(22) \qquad I_1 = -2c\omega\left(\frac{du}{dx}\right) = \frac{2E_3}{r}\frac{1}{k}\frac{e^{\frac{x-l}{k}} + e^{-\frac{x-l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}},$$

et l'on a

$$(23) \qquad (I_3)_{A,B} = \frac{2E_3}{kr}\frac{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}}.$$

Soit w' la résistance trouvée. On a $(I_2)_{A,B}.w' = E_2$, d'où

$$(24) \qquad \frac{1}{k}\,\frac{e^{\frac{l}{k}} + e^{-\frac{l}{k}}}{e^{\frac{l}{k}} - e^{-\frac{l}{k}}} = \frac{r}{2w'}.$$

Multipliant membre à membre les équations (15) et (24), nous obtenons

$$(25) \qquad \frac{1}{k^2} = \frac{r^2}{4w'W_2}.$$

ou bien, en remplaçant k^2 par sa valeur $\frac{\rho}{r}$,

$$(26) \qquad \rho = \frac{4w'W_2}{r} = \frac{4w'W_2\sqrt{\alpha\beta} \times l \times 0{,}43429}{\log_{10}(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})}.$$

Enfin, de la relation (19) on déduit, en remplaçant k^2 par sa valeur $\frac{1}{r\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{\rho}\right)}$,

$$(27) \qquad \frac{2}{R} + \frac{1}{\rho} = \sqrt{\alpha\beta}\,\frac{\log_{10}(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})}{l \times 0{,}43429}.$$

En tenant compte de l'expression trouvée précédemment pour ρ, on obtient enfin

$$(28) \qquad R = \frac{2l \times 0{,}43429 \times 4w'W_2\sqrt{\alpha\beta}}{(4w'W_2\alpha\beta - 1)\log_{10}(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})}.$$

Les valeurs de ρ et de R ainsi déterminées sont entachées d'une erreur dépendant de celle qui affecte w', par suite de la communication installée dans la quatrième expérience entre les extrémités B et D et le réservoir commun, mais on ne recherche pas dans la mesure des résistances d'isolement une aussi grande précision que dans la mesure des résistances métalliques.

THÉVENIN.

SUR LES

UNITÉS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES

Dans un article publié par M. Mercadier et moi dan le dernier numéro des Annales, nous avons établi qu'il ne peut rationnellement exister qu'un seul système de dimensions pour les quantités électriques et magnétiques de même que pour les quantités mécaniques ; que ce système ne doit pas être choisi arbitrairement et que la connaissance des dimensions des quantités en question ne saurait résulter que de données expérimentales. Nous avons de plus indiqué les raisons pour lesquelles le système électromagnétique paraît être le seul rationnel, celui qui correspond exactement à la nature des choses. Je me propose de montrer dans cette note comment on peut, en admettant notre manière de voir, arriver, par des considérations analogues à celles de la théorie moléculaire des gaz, à se représenter les phénomènes d'action à distance, notamment les phénomènes électrostatiques.

Si le coefficient k' de la formule d'Ampère est une constante absolue et si l'on prend $k' = 1$, on sait que le coefficient k de la formule de Coulomb est le carré d'une vitesse, soit $k = v^2$, et celle-ci peut s'écrire :

$$f = v^2 \cdot \frac{qq'}{r^2}.$$

(*) Voir le numéro de janvier-février 1883 : *Sur les unités électriques et magnétiques*.

On sait en outre que pour l'air la valeur de v est de 300,000 kilomètres environ par seconde. On est donc porté à croire que dans l'air (ou plutôt, sans doute, dans le vide absolu) v est égal à la vitesse V_1 de la lumière, et que la véritable formule est : $f = V_1^2 \frac{qq'}{r^2}$. Ce fait me paraît des plus simples à expliquer.

Un corps plongé dans le vide est, en effet, soumis de toutes parts à la pression de l'éther, dont les atomes viennent le choquer sans cesse. Si cette pression est uniforme sur toute sa surface, il reste en équilibre ; si au contraire pour une cause quelconque, telle qu'une action électrique, l'uniformité des pressions est détruite, le corps peut subir une poussée dans une certaine direction. D'ailleurs, sur un élément quelconque de surface, la pression est proportionnelle à la vitesse des atomes qui le choquent et au nombre de chocs dans l'unité de temps, c'est-à-dire proportionnelle au carré de la vitesse des atomes d'éther ou au carré de la vitesse de propagation de l'action perturbatrice. Mais les ondes lumineuses et calorifiques, quelles que soient leurs longueurs d'onde, paraissant se propager toutes avec la même vitesse V_1 dans le vide, on admettra sans doute que les atomes d'éther propageant les actions électriques n'ont pas une nature et une vitesse spéciales, et que la vitesse de propagation électrique est aussi égale à V_1. Si donc deux ou plusieurs corps électrisés se trouvent en présence, la pression qui s'exerce sur un élément quelconque de la surface de l'un d'eux est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à V_1^2 ; il en est, par suite, de même de la poussée totale f, attraction ou répulsion, qui agit sur chacun des corps en présence.

Ainsi s'explique la présence du facteur V_1^2 dans la for-

mule de Coulomb, pourvu que l'on admette : 1° que l'action d'un corps électrisé sur un autre corps plongé dans le vide soit transmise à ce dernier par les atomes d'éther qui viennent le choquer, hypothèse qui paraît la seule rationnelle ; 2° que les atomes d'éther dans le vide sont tous animés de la même vitesse, ce qui peut presque être considéré comme un fait d'expérience.

Dans l'air et dans les gaz les choses se passent à peu près comme dans le vide. Mais si l'on prend d'autres milieux, on ne sait plus quelle est la vitesse de propagation des phénomènes électriques ; on ignore même si cette vitesse est unique et déterminée, tandis qu'il en est autrement pour les phénomènes optiques. En outre, en supposant même qu'il y ait lieu de considérer une vitesse unique V, le raisonnement fait plus haut pour le cas du vide ne saurait se répéter ici en toute rigueur ; il présente encore quelque chose d'indécis et ne conduit pas forcément à conclure que la force f est proportionnelle à V^2. On peut, au contraire, arriver à une conclusion différente en faisant le raisonnement suivant.

Soient A et B deux corps électrisés plongés dans un certain milieu. Supposons qu'au lieu de les laisser directement en contact avec le milieu, on fasse le vide dans des couches infiniment minces autour de chacun d'eux. Cette modification infiniment petite doit changer infiniment peu l'action mutuelle de A et de B. Or l'action mutuelle de ces deux corps, toutes choses égales d'ailleurs, doit être proportionnelle : 1° à la vitesse des atomes qui les choquent, vitesse qui est celle correspondant au vide ; 2° à la vitesse de propagation du phénomène à travers le milieu qui sépare A et B. Cette action est donc proportionnelle au produit VV_1 et non au carré V^2.

On ne sait donc pas à priori, dans le cas d'un milieu

quelconque, quelle est la formule qui correspond exactement à la nature des actions électriques. Mais en s'en tenant au cas du vide (ou de l'air, ce qui pratiquement revient au même), on voit comment on peut, sans hypothèse compliquée, se rendre compte, dans la formule de Coulomb complétée: $f = V_1^2 \frac{qq'}{r^2}$, de la présence de l'un des facteurs V_1^2, le seul précisément qui ne soit pas mis en évidence dans la formule ordinaire.

Quant aux autres facteurs qq' et $\frac{1}{r^2}$, la démonstration à priori de leur intervention dans la formule fondamentale est beaucoup plus compliquée. Même pour le facteur $\frac{1}{r^2}$, dont la présence paraît toute naturelle et même nécessaire, son explication précise est plus difficile qu'il ne peut sembler au premier abord. Toutefois, sans recourir à des hypothèses, on peut, en s'appuyant simplement sur la considération des dimensions, chercher à concevoir la nature physique des quantités que l'on rencontre dans la théorie de l'électricité et à ramener la formule de Coulomb à une formule de mécanique rationnelle.

Il résulte en effet de la formule:

$$f = V^2 \frac{qq'}{r^2}$$

que les dimensions de la quantité d'électricité sont $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$ et, par suite, que celles de la densité électrique superficielle sont $L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$, c'est-à-dire les mêmes que celles de la racine carrée d'une densité de *masse matérielle*. Or si l'on représente par δ la densité électrique en un point de la surface d'un conducteur, la pression électrostatique en ce point est représentée ordinairement par la formule

$\pi \delta^2$. Mais comme on néglige toujours le coefficient ou V^2 dans la loi de Coulomb, laquelle sert de base à tous les calculs, en rétablissant ce coefficient on voit que la pression électrostatique p est égale à $2 \pi \delta^2 V^2$. D'après la remarque faite plus haut δ^2 est une densité de masse matérielle ; soit $\rho = \delta^2$. Il vient :

$$p = 2\pi\rho V^2.$$

D'autre part, si un corps est plongé dans un milieu fluide, tel qu'un gaz parfait, dont les molécules ou dont les atomes n'exercent aucune action les uns sur les autres, la pression qui s'exerce sur l'unité de surface de ce corps est donnée par la formule :

$$p = \frac{1}{3}\rho V^2,$$

ρ désignant la densité du milieu et V la vitesse de ses molécules ou de ses atomes.

Les deux formules précédentes ne diffèrent que par les facteurs *numériques* 2π et $\frac{1}{3}$. D'ailleurs, l'identité entre elles peut être établie en posant : $\delta^2 = \frac{1}{6\pi}\rho$ au lieu de : $\delta^2 = \rho$. Dans les deux cas, V représente la vitesse de translation des molécules ou des atomes du milieu ambiant, ce milieu étant l'éther lorsqu'il s'agit d'un corps électrisé plongé dans le vide. Dans les deux cas, ρ représente une densité de masse matérielle. Cette densité, il est vrai, est bien définie et, en quelque sorte, visible dans le second cas, tandis qu'on ne voit pas dans le phénomène électrostatique la matière dont la densité est représentée par ρ ou par ρ^2. Mais la comparaison même que je viens d'établir entre ces deux ordres de phénomènes pourrait peut-être servir à préciser le sens de la

densité ρ et aider à concevoir le mécanisme des actions électriques.

Enfin, il est à remarquer que dans l'un et l'autre cas, la pression p, en un point de la surface du corps, ne dépend que des valeurs de la densité ρ et de la vitesse V en ce point, quelles que soient les causes premières de l'action exercée sur le corps. Toutefois la pression électrostatique présente un caractère qui la différencie de la pression due à un gaz et qui tient à la ténuité des atomes d'éther comparativement à celles des molécules du gaz. Lorsqu'un corps est entouré d'un milieu gazeux, les molécules de celui-ci ne peuvent exercer qu'un effet de compression à la surface sans pénétrer à l'intérieur; tandis qu'un corps électrisé est soumis non seulement aux actions extérieures des corps voisins, mais encore à des actions intérieures qui tendent à le dilater et qui sont dues à son propre état électrique. Mais ce n'est point là une différence fondamentale et qui prouve qu'il faille chercher l'explication des faits électrostatiques ailleurs que dans une comparaison avec la pression d'un milieu fluide sur les corps qu'il baigne. Elle montre seulement que le problème électrostatique est plus complexe que l'autre et exige une solution moins sommaire.

On aura un cas se rapprochant beaucoup plus des phénomènes électriques si, au lieu de considérer la pression d'un fluide sur un corps dont la surface est à l'état de repos, on considère un corps dont la surface est en état de vibration. Si l'on connaît la loi du mouvement vibratoire, si c'est par exemple la même que celle du mouvement pendulaire, il est très facile de calculer la nouvelle expression de la pression du fluide en un point quelconque; cette pression dépend à la fois de la

période et de l'amplitude des vibrations. Enfin, si ce corps dont la surface est en vibration est plongé dans un fluide qui est lui-même non plus à l'état ordinaire, mais dans un état de perturbation provenant du mouvement vibratoire d'un autre corps placé à distance, le problème se complique bien davantage ; mais il n'y a encore là qu'une difficulté d'analyse, qui peut être vaincue assez facilement, au moins dans des cas particuliers. Les deux corps vibrants exercent l'un sur l'autre une action qui dépend de la période et de l'amplitude de chacun des mouvements vibratoires. Il suffit donc de considérer les molécules des corps comme étant en mouvement vibratoire pour se rendre compte de leur action mutuelle à distance. L'électrisation correspondrait à une modification de ce mouvement vibratoire, laquelle produirait sur les corps voisins les actions attractives ou répulsives. Je me bornerai ici à indiquer sans développements cette explication, à laquelle les expériences hydrodynamiques de Bjœrknes et d'autres savants paraissent donner quelque vraisemblance.

VASCHY.

RAPPORT

SUR LES MACHINES ÉLECTRO-DYNAMIQUES

APPLIQUÉES

A LA TRANSMISSION DU TRAVAIL MÉCANIQUE

DE M. MARCEL DEPREZ

RAPPORT DE M. CORNU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES (*).

A l'occasion des communications de M. Tresca sur les expériences de M. Marcel Deprez, une Commission fut, sur la proposition de M. le secrétaire perpétuel, nommée pour examiner de nouvelles expériences (séance du 19 février 1883). M. Cornu, au nom de la Commission, rend compte ainsi qu'il suit de la mission qui lui a été confiée.

Le problème du transport à grande distance de la force, par l'intermédiaire d'un courant électrique, intéresse à la fois l'industrie et la science. En effet, si l'on pouvait utiliser la totalité ou même seulement une partie minime des forces naturelles, telles que celles des torrents, des marées, etc., qui sont perdues par suite de la distance des régions où elles se développent, l'industrie trouverait, sous une forme inépuisable, l'aliment qu'elle emprunte aux combustibles minéraux, dont

(*) Commissaires : MM. Bertrand, Tresca, de Lesseps, de Freycinet et Cornu.

l'abondance n'est pas indéfinie et sur l'avenir desquels les économistes ne sont pas sans inquiétude.

La science, de son côté, ne peut rester indifférente à la solution de ce grand problème, dont elle a fourni tous les éléments, énoncé toutes les lois. Les ingénieurs viennent puiser chez elle les principes, sources de leurs progrès incessants, et en échange lui apportent des engins nouveaux, d'une puissance croissante, qui lui permettent de pousser plus avant ses investigations et de préparer l'avenir.

Comme pour la plupart des grands progrès industriels modernes, c'est dans le laboratoire du savant qu'on trouve l'origine de cette belle question : le premier exemple de transport de la force à distance a été en effet accompli par Faraday. En poussant l'aimant inducteur dans la bobine induite, Faraday faisait dévier l'aiguille de son galvanomètre : l'effort de sa main produisait donc, à quelques mètres de distance, un effort sur l'aiguille par l'intermédiaire d'un courant électrique, effort minuscule, il est vrai, mais qui est véritablement le germe de tous les progrès ultérieurs.

Gauss et Weber augmentèrent la distance de transmission et la grandeur de l'effort. Aujourd'hui on cherche à transmettre à plusieurs dizaines de kilomètres ou de myriamètres la force motrice nécessaire à une puissante usine ; et de plus on demande que l'opération soit économique.

C'est là en effet ce qui constitue la difficulté du problème, dont les trois termes caractéristiques sont :

1° Transporter par l'intermédiaire du courant électrique une quantité d'énergie considérable;

2° La transporter à une grande distance;

3° Faire en sorte que le prix de revient spécifique

(c'est-à-dire rapporté à la quantité d'énergie transmise) des machines et des conducteurs intermédiaires ne dépasse pas une valeur donnée.

Ces trois termes sont également importants ; car, si l'on consent à supprimer l'un d'eux, les difficultés disparaissent, le problème devient facile, sinon résolu depuis longtemps.

Il semble qu'on doive ajouter comme quatrième terme une condition à laquelle les mécaniciens accordent généralement une importance capitale, à savoir que le rendement, c'est-à-dire le rapport du travail transmis au travail dépensé, soit aussi élevé que possible.

Dans les conditions spéciales où le problème du transport de la force se pose, la question de rendement n'est qu'accessoire, car il s'agit le plus souvent de mettre en œuvre des forces inutilisées par l'éloignement de leur source ; aussi, quelque faible que soit la proportion utilisée, pourvu qu'elle revienne à bon marché, le résultat sera toujours avantageux. Néanmoins il est évident que la solution du problème sera d'autant plus parfaite que le rendement obtenu sera plus élevé.

Il pourrait paraître utile, pour mieux juger l'état de la question, de rappeler les essais de transport électrique d'énergie exécutés dans ces dernières années, soit en France, soit à l'étranger ; mais cette énumération, même succincte, des principaux essais nous entraînerait hors des limites imposées à ce rapport et n'aurait qu'un intérêt secondaire. Ces essais, si intéressants qu'ils soient, au point de vue historique, ne remplissent pas pour la plupart l'une des trois conditions indispensables indiquées plus haut.

En effet, la quantité de travail transmis est parfois notable, comme dans l'expérience de Sermaize, dans le

chemin de fer électrique de MM. Siemens et dans de récentes installations faites aux mines de la Peronnière et de Blanzy; mais la distance, c'est-à-dire la résistance des fils conducteurs, est très faible (quelques ohms au plus); d'autres fois la résistance est plus considérable, mais alors la quantité de travail utile transmis est insignifiante; de plus, dans la majeure partie des cas, aucune disposition sérieuse n'a été prise pour mesurer d'une manière précise le travail dépensé ou le travail recueilli.

La seule expérience où l'on ait cherché à remplir les conditions réelles du problème est celle de Miesbach-Munich, exécutée par M. M. Deprez à une distance de 57 kilomètres; la jonction établie par les fils télégraphiques représentait une résistance totale de 950 ohms, et le travail transmis a dépassé 1/2 cheval. Le télégramme de félicitations que le Dr Von Beetz, président du comité technique de l'exposition, a adressé, le 2 octobre 1882 à l'Académie, pour annoncer le succès de l'expérience, témoigne de l'importance du résultat acquis : la violence des polémiques qui s'élevèrent à ce propos suffirait peut-être à elle seule à prouver que l'auteur avait, sinon résolu le problème, du moins en avait touché de bien près la solution.

Nous n'avons point à examiner ni à juger cette expérience, exécutée dans des conditions imparfaites et pour laquelle d'ailleurs les mesures électriques et dynamiques sont notoirement insuffisantes.

Le rôle de votre Commission doit donc se borner à exposer succinctement les résultats des expériences auxquelles elle a pris part; elles ont d'autant plus d'intérêt qu'elles sont le complément et la confirmation de

celles dont l'un de nous a rendu compte en détail dans les séances des 19 et 26 février 1883.

Ces expériences ont été exécutées le 4 mars dernier aux ateliers du chemin de fer du Nord, gracieusement mis à la disposition de M. Deprez pour l'application de ses machines dynamo-électriques au transport de la force par l'intermédiaire d'un fil télégraphique.

La disposition générale des machines était celle qui a été décrite précédemment (*loc. cit.*) et que nous allons rappeler en quelques mots.

La machine génératrice (type M. Deprez, n° 20) était reliée à la machine réceptrice (machine Gramme, type D, transformée) d'un côté par un fil court et peu résistant, de l'autre par un fil télégraphique en fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre, passant par la station du Bourget et présentant un développement total de 17 kilomètres.

Cette disposition offrait l'avantage de placer les deux machines côte à côte et de faciliter singulièrement les mesures simultanées : elle diffère, il est vrai, des conditions imposées au transport de la force à grande distance, à cause de la jonction directe des deux machines : on pourrait donc élever une objection contre ce mode d'expérience.

On sait en effet que l'essai d'appareils télégraphiques, dans les conditions de jonction où se trouvent les deux machines, ne permettrait aucune conclusion sur la valeur des appareils au point de vue de leur rendement en ligne, c'est-à-dire de leur rapidité de fonctionnement ; mais cette objection s'amoindrit singulièrement si l'on remarque que les signaux télégraphiques sont caractérisés par la discontinuité des courants, discontinuité que la capacité électrique des longues lignes, l'électrification

des isolants, etc., tendent à effacer et à détruire; c'est pourquoi les lignes télégraphiques ne peuvent être, au point de vue de l'appréciation des appareils, remplacées par un fil court de résistance équivalente. Mais, pour la transmission d'un courant uniforme, ces difficultés n'existent nullement, car il s'agit de savoir seulement si le flux électrique parcourt sans complications le circuit donné, ce dont on a eu la preuve numérique dans chaque expérience : l'objection tirée de la comparaison avec les appareils télégraphiques perd donc la plus grande partie, sinon la totalité de sa valeur.

Il en eût été tout autrement si les courants utilisés avaient été alternatifs, comme dans certaines machines servant à la production de la lumière : aussi la Commission, sans s'arrêter à cette objection, a-t-elle, sous bénéfice de certaines réserves (*), accepté les conditions qui lui ont été offertes et examiné en détail tous les éléments qu'il a été possible d'observer.

Voici le résultat des mesures exécutées par la Commission. M. Tresca s'était chargé des mesures dynamométriques, M. Cornu des mesures électriques.

(*) Le désir a été exprimé par un des membres qu'on pût établir à volonté une communication avec le sol sur le fil court joignant les deux machines; il eût été, en effet, fort intéressant de comparer les résultats obtenus avec ou sans cette communication au sol qui aurait modifié profondément la distribution des potentiels dans le circuit sans altérer théoriquement l'intensité du courant; on aurait eu, en outre, un contrôle de l'isolement de la ligne : des difficultés matérielles (sans compter le danger qui pouvait résulter pour les observateurs appelés à toucher des machines imparfaitement isolées) ont empêché de réaliser cette disposition. On verra du reste plus loin que les déterminations électriques apportent, dans chaque expérience, une vérification satisfaisante du fonctionnement de la ligne télégraphique.

I. — Données dynamométriques

(Dynamomètre enregistreur du général Morin.)

NUMÉRO de l'expérience.	DYNAMOMÈTRE.		GÉNÉRATRICE.	RÉCEPTRICE.		REMARQUES.
	Nombre de tours par minute v.	Ordonnée moyenne du diagramme y.	Nombre de tours par minute N	Nombre de tours par minute n.	Charge du frein.	
		millim.			kg	
I. . . .	59	12,68	378	104	5	
II. . .	57	13,18	370	88	5	
III. . .	40	1,79	»	»	»	
IV. . .	157	3,53	»	»	»	
V. . .	132	14,43	850	602	5	Expérience interrompue.
VI. . .	144	14,29	923	709	5	
VII. .	132	14,05	850	643	5	Frein mal tenu.
VIII. .	159	15,04	1024	799	5	
IX. . .	155	2,69	»	»	»	
X. . .	166	2,00	»	»	»	

Circonférence de la poulie du dynamomètre de transmission, y compris la demi-épaisseur de la courroie. $C + \frac{1}{2}\varepsilon = 2^m,623$

Circonférence de l'extrémité du levier du frein de la réceptrice. . . . . 5 ,00

Rapport des vitesses de rotation de la génératrice au dynanomètre, déduit des rayons des poulies de transmission augmentés de la demi-épaisseur des courroies. . . . . 6 ,35

II. — Données électriques.

Résistances mesurées avant l'expérience.

Machines.

Génératrice.

		ohms
Résistance approximative des 4 inducteurs.	4×5^{ohms}	= 20
Résistance approximative des 2 anneaux.	2×18^{ohms}	= 36
Résistance totale. . . .		R = 56,62

Réceptrice.

Résistance approximative des inducteurs.	47
Résistance approximative de l'anneau.	36
Résistance totale. . . .	r = 85,92

Circuits. { Ligne télégraphique. . . . . $\rho = 160,62$
Résistance additionnelle employée quelquefois. . 285

Galvanomètres. { Galvanomètre n° 1 (employé avec une résistance de $50000^{ohms} = g'$). . . . . . $g_1 = 55,23$
Galvanomètre n° 2 (employé avec un shunt de $1^{ohm},23 = s$). . . . . $g_2 = 29,73$

Lectures des galvanomètres pendant les expériences.

(Galvanomètres système M. Deprez.)

NUMÉRO de l'expérience.	MESURE DE LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL. Galvanomètre n° 1. (Avec résist. add. de 50000 ohms).			MESURE DE L'INTENSITÉ. Galvanomètre n° 2. (Shunté par 1ohm,23).		REMARQUES.
	Zéro des déviations.	Communication avec les bornes de la machine		Zéro des déviations.	Intercalation dans le circuit.	
		génératrice.	réceptrice.			
I. . . .	1,00	4,15	2,40	0,60	−9,10	
II. . . .	1,00	4,25	2,55	0,60	−9,60	
V. . . .	1,00	8,78	»	»	»	Interrompue.
VI. . . .	1,55	10,60	8,85	0,60	−9,60	
VII. . .	1,50	10,00	8,00	0,60	−9,80	
VIII. . .	1,50	11,70	10.20	0,60	−9,55	

III. — Coefficients de réduction des mesures dynamométriques.

1° *Calcul du travail total transmis par le dynamomètre de transmission.* — L'aire du tracé sur les bandes de l'enregistreur a été relevée au planimètre d'Amsler par portions de $0^m,40$ de longueur environ : les résultats sont la moyenne des chiffres très concordants obtenus par deux observateurs indépendants ayant chacun leur planimètre.

Le dynamomètre a été taré à nouveau après les expériences et a redonné le chiffre $8^{kgr},8$ par millimètre obtenu précédemment (Voir plus loin le tarage de dynamomètre).

Le travail transmis en une minute par le dynamomètre est égal au produit de l'ordonnée moyenne $y \times 8^{kgr},8$ par la circonférence C de la poulie, en tenant compte de la demi-épaisseur de la courroie (exprimée en mètres), multiplié par le nombre de tours ν en une minute : divisant ce produit par 75×60, on obtient ce travail en *chevaux-vapeur*

$$T = y \times \frac{C + \frac{1}{2}\varepsilon}{60 \times 75} \times 8,8 = y\nu \times 0,00513.$$

2° *Calcul du travail transmis à l'arbre de la génératrice.* — Le dynamomètre étant monté sur un arbre auxiliaire qui transmettait le mouvement à l'arbre du dynamomètre par une poulie auxiliaire, de manière à multiplier la vitesse de rotation par 6,35, on a été conduit à mesurer le travail dû à cette double transmission en faisant marcher la génératrice en circuit ouvert (Expériences III, IV, IX, X). La soustraction du travail de transmission s'effectue en retranchant de l'ordonnée moyenne y l'ordonnée y_0 correspondant au travail à circuit ouvert, la vitesse de rotation étant sensiblement la même.

L'expérience III a servi ainsi à calculer le travail des expériences I et II, transmission déduite, la moyenne de IV et IX à calculer les autres.

Ces deux manières de calculer le travail moteur cédé à la génératrice, transmission comprise ou transmission déduite, fournissent évidemment une limite supérieure et une limite inférieure du travail réellement dépensé par la machine; toutefois la limite inférieure, qui n'élimine que le travail des forces résistantes de l'arbre à circuit ouvert, plus rapprochée des conditions théoriques, sera employée de préférence dans la discussion des phénomènes purement électriques qu'il importe ici d'analyser.

3° *Calcul du travail recueilli sur l'arbre de la réceptrice.* — Le travail par tour en chevaux est évidemment égal à

$$\frac{5^{m} \times 5^{kg}}{75 \times 60} = 0^{chv},005556$$

Il ne comprend pas le travail des résistances passives de l'arbre : travail difficile à évaluer, surtout si l'on veut tenir compte de la vitesse.

4° *Rendement dynamométrique brut et rendement transmission déduite.* — Le rendement brut est le quotient du travail mesuré au frein de la réceptrice divisé par le travail mesuré au dynamomètre de transmission. Le rendement, transmission déduite, est le quotient du travail mesuré au frein de la réceptrice divisé par le travail mesuré au dynamomètre de transmission, diminué du travail absorbé par la transmission et par l'arbre de la génératrice.

Tarage du dynamomètre de rotation. — Le dynamomètre employé est celui du général Morin, appartenant au Conservatoire des Arts et Métiers. Il permet d'enregistrer sur une bande de papier, qui se déroule proportionnellement à la vitesse de rotation, l'effort exercé sur la poulie du dynamomètre, mesuré par la flexion d'un double ressort d'acier à profil parabolique.

Voici le détail des observations effectuées pour le tarage de ce dynamomètre à la fin des expériences, lorsque l'appareil est rentré à la galerie des machines du Conservatoire.

On donne le relevé des ordonnées correspondant à toutes les charges, croissant ou décroissant par 20 kilogrammes, pour constater que la flexion enregistrée est sensiblement proportionnelle à l'effort.

Pour calculer la constante du dynamomètre, on a retranché de l'ordonnée maximum celle qui correspond à la première ou à la dernière charge de 20 kilogrammes : on élimine ainsi la *parallaxe* des crayons.

Charges appliquées au dynamomètre.	II. Dans le sens de la marche pendant les expériences.					III. En sens contraire.						IV. Dans le sens de la marche pendant les expériences.					
	Distance des traits à vide.	Flèches en charge.	Flèches par 20 kil.	Flèches en décharge.	Flèches par 20 kil.	Distance des traits à vide.	Flèches en charge.	Flèches par 20 kil.	Flèches en décharge.	Flèches par 20 kil.	Distance des traits à vide.	Distance des traits à vide.	Flèches en charge.	Flèches par 20 kil.	Flèches en décharge.	Flèches par 20 kil.	Distance des traits à vide.
kg		mm		mm			mm		mm				mm		mm		
20	0	2,2	2,2	2,3	2,5	2,2	4,5	2,3	5,4	2,1	3,0	1,7	4,8	3,1	5,4	2,9	3,1
40	»	4,5	2,3	4,8	2,6	2,3	6,7	2,2	7,5	2,3	3,1	2,0	7,0	2,2	8,3	2,2	3,2
60	»	6,8	2,3	7,4	2,0	2,3	9,0	2,3	9,8	2,4	3,2	2,0	9,4	2,4	10,5	2,3	3,2
80	»	9,1	2,3	9,4	2,4	»	11,2	2,2	12,2	2,0	»	»	12,0	2,6	12,8	2,2	»
100	»	11,6	2,5	11,8	2,3	»	13,6	2,4	14,2	2,3	»	»	14,5	2,5	15,0	2,2	»
120	»	14,0	2,4	14,1	1,9	»	15,9	2,3	16,5	2,2	»	»	16,8	2,3	17,2	2,5	»
140	»	16,2	2,2	16,0	2,4	»	18,3	2,4	18,7	2,2	»	»	19,2	2,4	19,7	2,1	»
160	»	18,4	2,2	18,4	2,1	»	20,8	2,5	20,9	2,5	»	»	21,4	2,2	21,8	2,0	»
180	»	20,5	2,1	20,5	2,1	»	22,9	2,1	23,4	2,1	»	»	23,8	2,4	23,8	2,3	»
200	»	22,8	2,3	22,6	2,4	»	25,3	2,4	25,5	2,0	»	»	25,9	2,1	26,1	2,1	»
220	»	24,8	2,0	25,0	»	»	27,4	2,1	27,5	»	»	»	28,0	2,1	28,2	»	»
		24,8		25,0			27,4		27,5				28,0		28,2		
		−2,2		−2,3			−4,5		−5,4				−4,8		−5,4		
		22,6		22,7			22,9		22,1				23,2		22,8		
		22,65					22,50						23,00				
		200 : 22,65 = 8,83					200 : 22,50 = 8,89						200 : 23,00 = 8,69				

Moyenne $8^{kg},80$ par millimètre.

Ainsi l'ordonnée de 1 millim. sur la bande de l'enregistreur correspond à un effort de $8^{kg},8$ à la circonférence de la poulie du dynamomètre munie de sa courroie.

IV. — COEFFICIENTS DE RÉDUCTION DES MESURES ÉLECTRIQUES.

1° *Calcul des différences de potentiel* U *aux bornes d'une machine.* — On observe l'intensité i dans la dérivation formée par le galvanomètre n° 1 dont la résistance propre est g et la résistance additionnelle s : on a évidemment

$$(g+g')i=\mathrm{U}.$$

On obtient l'intensité en ampères en multipliant la déviation δ du galvanomètre n° 1 par $m=0{,}00458$ (*voir* plus loin le tarage des galvanomètres), et, comme $g_1=55^{\text{ohms}},23$ et $g'=50000^{\text{ohms}}$, on a

$$\mathrm{U}=\delta\times 50055\times 0{,}00458=229{,}25\,\delta$$

exprimée en volts.

2° *Calcul de la force électromotrice* E *développée dans la machine.* — Le circuit dérivé ci-dessus, complété par le circuit de la machine, donne, d'après la loi de Kirchhoff,

$$(g+s)i+\mathrm{RI}=\mathrm{E},$$

ou bien

$$\mathrm{E}=\mathrm{U}+\mathrm{RI},$$

R étant la résistance de la machine, I l'intensité du courant principal et E la force électromotrice développée.

Pour la réceptrice E, U et I sont de même signe. On aura donc numériquement à ajouter RI à U.

Pour la réceptrice, e et u sont de signe contraire à I. On aura donc numériquement

$$e=u-r\mathrm{I}.$$

3° *Calcul de l'intensité du courant principal* I. — Elle est donnée par la déviation Δ du galvanomètre n° 2, dont la résistance est $g_2=29{,}73$, dont les bornes sont réunies par un fil de résistance $s=1{,}23$. On a évidemment

$$\mathrm{I}=i\left(1+\frac{g_2}{s}\right),$$

i étant l'intensité lue au galvanomètre : on l'obtient en ampères, en multipliant la déviation Δ par $\mathrm{M}=0{,}00980$ (*voir* plus loin le tarage des galvanomètres), de sorte qu'on a

$$\mathrm{I}=\Delta.0{,}0098\left(1+\frac{29{,}73}{1{,}23}\right)=\Delta\times 0{,}247.$$

Tarage des galvanomètres. — Les deux galvanomètres que M. Deprez a employés sont formés par une lame d'acier fendue en *arête de poisson*, maintenue entre les branches d'un aimant puissant. On les a tarés simultanément au lieu même des expériences, avant et après la séance du 4 mars, en les mettant dans le circuit d'une pile de 10 daniells, montée depuis trois jours (cylindres de zinc de 10 centimètres de hauteur),

accouplés comme cinq éléments à double surface, avec une série de résistances prises sur la boîte servant aux mesures.

Première série (avant les expériences).

RÉSISTANCE additionnelle x.	LECTURES.				DÉVIATIONS CONCLUES.	
	Galvanomètre n° 1.		Galvanomètre n° 2.		Galv. n° 1. 2δ.	Galv. n° 2. 2Δ
ohms						
0	—13°,75	11°,17	6°,40	—5°,22	24°,42*	11°,62*
100	— 7 ,00	5 ,10	3 ,45	—2 ,22	12 ,10	5 ,67
200	— 5 ,00	3 ,05	2 ,47	—1 ,30	8 ,05	3 ,77
300	— 4 ,00	2 ,10	2 ,00	—0 ,85	6 ,10*	2 ,85*
400	— 3 ,55	1 ,70	1 ,65	—0 ,55	5 ,25	2 ,20(1)
500	— 2 ,95	1 ,07	1 ,47	—0 ,45	4 ,02	1 ,92
1000	— 1 ,95	0 ,25	1 ,10	—0 ,00	2 ,20	1 ,10
Deuxième série (après les expériences).						
ohms						
0	—11°,80	13°,60	6°,45	—5°,20	25°,40*	11°,65*
100	— 5 ,10	6 ,90	3 ,45	—2 ,15	12 ,00	5 ,60
200	— 3 ,00	4 ,80	2 ,47	—1 ,80	7 ,80	3 ,67
300	— 1 ,95	3 ,95	1 ,95	—0 ,73	5 ,90	2 ,68
400	— 1 ,50	3 ,40	1 ,80	—0 ,45	4 ,90*	2 ,25*

(1) Incertaine, s'accorde mal avec l'ensemble.

L'intensité $i = m\delta = M\Delta = \frac{5D}{a+x}$, D étant la force électromotrice d'un élément Daniell et a la somme des résistances fixes. On a évidemment, en retranchant l'inverse de deux valeurs δ', δ'',

$$\frac{1}{2m\delta'} - \frac{1}{2m\delta''} = \frac{x' - x''}{10D};$$

d'où

$$m = \frac{10D}{x' - x''}\left(\frac{1}{2\delta'} - \frac{1}{2\delta''}\right).$$

En adoptant les chiffres marqués d'un astérisque dans chaque série, on obtient :

	Galvanomètres n° 1.	Galvanomètres n° 2.
Première série.	$m = 0{,}004100$ D	$M = 0{,}008827$ D
Deuxième série.	$m = 0{,}004118$ D	$M = 0{,}008965$ D
Moyenne.	$m = 0{,}00411$ D	$M = 0{,}00890$ D

Troisième série.

Une troisième série de mesures a été faite en mesurant la valeur absolue de l'intensité dans le circuit contenant une pile de cinq éléments Daniell simples et les deux galvanomètres, et une résistance x dont les extrémités présentaient une différence de potentiel égale à celles des pôles d'un élément Daniell. On a trouvé

$$2\delta = 18°{,}57 \qquad 2\Delta = 8°{,}76,$$

et pour $x = 24^{\text{ohms}}{,}7$, d'où $i = \dfrac{D}{24{,}7}$ en ampères,

$$m = 0{,}00436\ D, \qquad M = 0{,}00924\ D.$$

Si l'on prend la moyenne de ce résultat et du précédent en adoptant $D = 1^{\text{volt}}{,}08$, on obtient la valeur en ampères d'une division,

$$m = 0^{\text{amp}}{,}00458, \qquad M = 0^{\text{amp}}{,}00980.$$

La réduction des observations conduit aux résultats suivants :

RÉSULTATS DYNAMOMÉTRIQUES.

NUMÉRO de l'expérience.	NOMBRE DE TOURS par minute		TRAVAIL MÉCANIQUE				RENDEMENT dynamométrique.	
	Génératrice N	Réceptrice n	fourni par la poulie du dynamomètre T'	fourni à la génératrice T_m	recueilli au frein de la réceptrice T_u	transmis par tour de la génératrice.	brut $\frac{T_u}{T}$	transmission déduite $\frac{T_u}{T_m}$
			ch.	ch.	ch.	ch		
I	378	104	3,838	3,296	0,578	0,00153	0,151	0,176
II	370	88	3,854	3,331	0,489	105	0,127	0,147
V	850	602	9,771	7,665	3,344	393	0,342	0,435
VI	923	709	10,556	8,259	3,939	427	0,372	0,477
VII	850	643	9,514	7,408	3,572	420	0,375	0,482
VIII	1024	799	12,267	9,731	4,439	433	0,362	0,456

L'inspection de ce tableau montre que le travail absorbé par la génératrice et transmis à la réceptrice a augmenté avec la vitesse de la génératrice.

(*A suivre.*)

CHRONIQUE.

Exposition générale italienne à Turin en 1884

(Exposition internationale d'électricité.)

L'Exposition générale italienne qui s'ouvrira avec le concours du Gouvernement, au mois d'avril 1884 à Turin, comprendra une section spéciale destinée à l'*Électricité*.

Le Comité général, à qui on a confié l'organisation de cette Exposition, a résolu d'inviter les industriels de tous les pays à concourir à cette section spéciale, faisant bénéficier les exposants étrangers des mêmes avantages et distinctions accordés aux exposants italiens. La section d'électricité qui s'établira au sein de l'Exposition générale italienne, comprendra les catégories suivantes :

Électricité statique.

Électro-chimie et matériaux pour les appareils et pour les circuits électriques, piles, accumulateurs, etc.; fils, câbles, etc.; paratonnerres.

Appareils pour l'étude du courant électrique.

Appareils pour les mesures électriques; appareils pour les démonstrations didactiques.

Applications de l'électricité à la transmission des signaux et analogues; indicateurs à distance, chronographes, compteurs, horloges électriques.

Télégraphes, téléphones, microphones.

Applications de l'électricité à la sûreté sur les chemins de fer, signaux, block-systèmes, etc.

Applications à l'explosion des mines et analogues.

Applications à la médecine et à la chirurgie.

Production industrielle des courants électriques, machines magnéto-électriques et dynamo-électriques.

Éclairage électrique.

Transport à distance et distribution de l'énergie mécanique par l'électricité.

Électro-métallurgie et galvanoplastie.

Applications diverses.

En s'adressant aux électriciens de tous les pays pour les inviter à porter leurs produits et démontrer à la réunion de tous les producteurs italiens, au centre de l'une des provinces les plus industrielles de la nation, l'importance des grandes applications de l'électricité, le Comité a la certitude que son invitation sera prise dans la plus sérieuse considération. Il n'est aucun pays qui, mieux que l'Italie, puisse espérer de plus utiles applications de l'électricité. Tandis que maintenant elle est tributaire des autres nations pour le combustible nécessaire à ses chaudières et à son éclairage, elle voit pour l'avenir une source inépuisable de force motrice dans les torrents et les cascades de ses vallées alpines.

Les industriels italiens sont pénétrés du besoin d'étudier les grandes applications de l'électricité et ne manqueront pas de s'en servir.

Au but qui a réuni les électriciens en 1881 à Paris, dans l'hiver de la même année à Londres, en 1882 à Munich et qui les réunira de nouveau en 1883 à Vienne, se joindra, pour les engager à venir en 1884 à Turin, la considération fondée des nombreuses applications que l'électricité pourra avoir dans un pays qui naît aux grandes industries.

Le dîner mensuel des électriciens.

Un *dîner mensuel des électriciens* a été fondé sur la proposition et l'initiative de M. Hallez d'Arros. Le premier dîner a eu lieu le mercredi 21 mars dans un des salons du café Durand, place de la Madeleine.

Dès sept heures du soir, deux lampes électriques à arc voltaïque, allumées au premier étage, illuminaient l'une la place de la Madeleine, l'autre la rue Royale, et attiraient l'attention des passants par l'éclat de leur lumière. La salle du banquet, le salon de réunion et les escaliers étaient éclairés au moyen

de quatre-vingt-deux lampes à incandescence du système Swan.

Soixante personnes environ prenaient place, à 8 heures, autour de la grande table en fer à cheval présidée par M. le ministre des Postes et des Télégraphes. Après le dîner, de nombreux toasts furent portés, notamment à M. le ministre, à M. Berger, commissaire général de l'Exposition internationale d'électricité en 1881, et à M. d'Arros, organisateur du banquet mensuel. La fête se prolongea jusqu'à une heure du matin.

Il a été décidé que le dîner des électriciens aurait lieu le 21 de chaque mois. Le deuxième et le troisième dîners ont eu lieu effectivement le 21 avril et le 21 mai.

Le dynamographe électrique ou appareil enregistreur du travail des machines

Note de M. C. Resio.

Dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences par M. Th. du Moncel à la séance du 27 mars 1882, je donnais la description d'un appareil indicateur du travail des machines au moyen du téléphone qui, faisant connaître la torsion de l'axe moteur et sa vitesse angulaire au moment où l'appareil est interrogé, donne les éléments nécessaires pour calculer le travail de la machine à laquelle il est appliqué.

J'ai étudié un autre appareil qui peut enregistrer automatiquement une courbe dont les ordonnées sont proportionnelles à l'effort appliqué à l'axe moteur et les abscisses proportionnelles à sa vitesse angulaire; par conséquent, l'aire comprise entre deux ordonnées quelconques, la courbe et l'axe des abscisses, fait connaître le travail de la machine dans le temps que le diagramme a été tracé.

Le *dynamographe* se compose de deux parties, du transmetteur et du récepteur ou enregistreur. Le transmetteur consiste en une disposition mécanique assez simple, adaptée à l'axe moteur et au moyen de laquelle la torsion se borne à faire glisser un anneau qui embrasse l'axe dans le sens de sa lon-

gueur, de manière que ses déplacements soient proportionnels à la torsion. Une tige métallique à section rectangulaire est placée à côté de l'anneau, parallèlement à l'axe, et reçoit, entre deux petites mâchoires partant de son milieu, un bord plat de l'anneau dont le plan est perpendiculaire à l'axe. Il s'ensuit que la tige doit suivre tous les mouvements de l'anneau, et ses déplacements, qui sont parallèles à l'axe, seront encore proportionnels à la torsion. Si, à cette tige, on adapte un index dont la pointe soit au-dessus d'une règle fixe, sa position sur cette règle fera connaître, à chaque instant, la torsion et, par conséqnent, l'effort du moteur. Or les mouvements de cet index sont transmis électriquement, aussi bien que la vitesse angulaire de l'axe, à l'appareil enregistreur qui trace une courbe dont les ordonnées sont proportionnelles à ses déplacements du *zéro* ou du point correspondant à la torsion nulle et les abscisses à la vitesse angulaire.

La disposition mécanique, pour opérer cette transmission, se compose d'une horloge qui lance, à chaque minute, deux courants électriques dans un circuit, de manière que *le temps qui s'écoule entre deux émissions consécutives est exactement proportionnel au déplacement de l'index et, par conséquent, à l'effort moteur;* ce temps est toujours moindre que soixante secondes.

Du côté du récepteur, la partie du mécanisme qui a pour but d'enregistrer la torsion se compose aussi d'une horloge, qui communique à un cylindre portant en relief, sur sa surface, un pas d'hélice ou de vis dont le filet est continuellement encré, un mouvement uniforme de rotation de manière à faire un tour en soixante secondes. Ce cylindre n'est pas fixe sur son axe, mais il appuie sur celui-ci à frottement doux; il s'ensuit qu'il peut être arrêté sans que l'axe cesse de tourner avec sa vitesse. Or il arrive que, à la première émission du courant lancé dans le circuit qui relie les deux appareils transmetteur et récepteur, l'hélice est déclanchée et commence à tourner; à la seconde émission, une bande de papier, qui se déroule lentement, avec une vitesse proportionnelle à celle de la machine et qui passe au-dessous et très près du fil de l'hélice, est portée vivement, par l'action d'un électro, au contact du fil de l'hélice, et une trace à l'encre se fait sur le pa-

pier ; et puisque, à la première émission, une autre trace se produit sur le papier, il est évident que la distance des deux traces est proportionnelle au temps écoulé entre les deux émissions du courant et, par conséquent, à la torsion ou à l'effort appliqué à l'axe moteur. Le premier trait à l'encre se produit toujours au moment du déclanchement de l'hélice, et, comme ces traces se suivent de très près, puisque le mouvement du papier est lent, elles donnent naissance à une droite parallèle au bord du papier. Les traces dues à la seconde émission donnent lieu à une courbe dont les coordonnées seront les distances indiquées ci-dessus et, par conséquent, seront proportionnelles à la torsion ou à l'effort moteur. Si la vitesse d'entraînement du papier est proportionnelle à la vitesse angulaire de l'axe, on aura donc une courbe qui fera connaître le travail de la machine à laquelle le dynamographe est appliqué. Sa disposition mécanique, pour atteindre ce but, est très simple. Un circuit électrique, contenant un électro du récepteur, est fermé à chaque tour de l'axe moteur ; par conséquent l'armature de l'électro fait aussi une oscillation à chaque tour. Or, cette armature étant en relation avec une roue à rochet, au moyen d'un encliquetage, une dent de celle-ci est poussée en avant à chaque oscillation ou à chaque rotation de l'axe de la machine. Si la roue à rochet a 20 dents, et si une vis perpétuelle, appliquée à son axe, engrène avec une roue ayant 50 dents, calée sur l'arbre du cylindre qui entraîne la bande de papier, les oscillations de l'armature se traduisent en un mouvement lent de rotation du cylindre, qui fera un tour tandis que l'axe moteur de la machine en fait 1.000, et la bande de papier sera entraînée avec une vitesse proportionnelle à la vitesse angulaire de l'axe auquel l'appareil est appliqué. Le cylindre entraîneur laisse, à chaque tour, 10 traces à sec sur le papier ; 9 de ces traces sont simples, la dixième est double ; par conséquent la distance des traces simples indique 100 tours, et la distance des traces doubles correspond à 1.000 tours de l'axe. Le temps étant ainsi indiqué sur la bande de papier par des traits à l'encre, on a tous les éléments pour calculer le travail de la machine.

(*Comptes rendus.*)

Note sur la phosphorescence du champ magnétique

Par W. F. Barret.

On sait que feu le baron de Reichembach prétendit avoir découvert une lueur particulière émanant des pôles d'un aimant et ressemblant à une faible décharge électrique dans l'air raréfié.

Cette lueur particulière n'était visible que dans une pièce absolument obscure, et encore pas pour tous les observateurs. Depuis la publication des travaux de Reichembach, de nombreuses tentatives ont été faites pour rendre cette *vapeur* lumineuse visible aux observateurs qui se sont occupés de cette question; mais ces tentatives ont généralement échoué (*), et celles qui ont réussi (celles du professeur Gregory et du Dr Ashburner) ne me semblent pas avoir prévu et éliminé d'une façon absolue les effets de l'imagination, de l'erreur ou du hasard.

Il n'est donc pas surprenant que la découverte publiée par Reichembach ait généralement rencontré peu de crédit parmi les savants de tous les pays. Il m'a toujours paru difficile néanmoins de révoquer en doute le témoignage explicite, et probant *à bien des égards* que Reichembach produit, de même que l'attestation du professeur Endlicher et d'autres sommités scientifiques, qui, étant dans leur état normal de santé, décrivent ces manifestations avec des détails minutieux, la lueur qu'ils ont vue se formant quand l'aimant est excité, comme si une nuée phosphorescente enveloppait les pôles magnétiques.

Ce sont des considérations de cet ordre qui ont déterminé la société pour les recherches psychiques nouvellement fondée, à subventionner une commission pour répéter les expériences de Reichembach, dans le but de vérifier leur réalité, en les soumettant à un grand nombre de personnes.

(*) Voir par exemple les expériences excellentes et consciencieuses du Dr W. H. Stom, décrites dans les *Annales de l'Hôpital Saint-Thomas* (1880), vol. X, p. 100.

Les expériences furent faites dans les salons de la société (14 Deans Yard, Westminster); une de ces pièces était disposée de façon à être convertie à volonté en une chambre absolument obscure, où l'on ne percevait pas le moindre rayon lumineux même au bout d'une heure de séjour dans l'obscurité.

Un puissant éclectro-aimant fut monté sur un bloc de bois massif, et placé au milieu de la pièce; des fils mettaient en communication l'électro-aimant avec un commutateur placé dans une autre pièce et avec une forte pile de Smee au dehors.

Trois observateurs (M. Walter H. Coffin, l'honorable secrétaire de la commission, M. Edmond Gurney et M. E. R. Pease) étaient chargés de manœuvrer le commutateur, donnant et supprimant le courant à volonté et notant les exclamations des observateurs placés dans la chambre obscure, les voix pouvant être entendues facilement à travers la cloison. Dans la chambre obscure étaient M. F. W. H. Myers, le Dr A. T. Myers, M. H. N. Ridley et moi-même, et dans une séance postérieure M. W. R. Browne, ainsi que deux personnes qui, dans une expérience préliminaire, la veille ou l'avant-veille, avaient déclaré voir une lueur autour des pôles d'un aimant permanent en acier. C'étaient M. G. A. Smith et un jeune homme, M. Wells, employé dans une boulangerie, tous deux entièrement étrangers à ces recherches jusqu'au moment des premiers essais, et n'ayant aucune connaissance des travaux de Reichembach.

Au début, on ne leur dit pas ce qu'il y avait à voir, mais on leur recommanda de noter soigneusement s'ils voyaient quelque chose malgré l'obscurité, et dans ce cas, quel objet et à quelle place.

Pendant quelque temps, après notre introduction dans la chambre obscure, on ne voyait rien, quoique l'électro-aimant fût fréquemment actionné. Au bout d'une demi-heure, Wells, et, après lui, M. Smith déclarèrent voir une légère vapeur lumineuse dans la chambre; prié de désigner l'endroit, chacun d'eux séparément me conduisit au pôle magnétique siège de la lueur. Un pôle (le pôle nord) était, disaient-ils, plus brillant que l'autre. La lueur formait deux cônes ondoyants ayant leur sommet sur chacun des pôles magnétiques, le souffle pouvait dévier, mais non éteindre la lueur (*). Elle

(*) Autant que j'ai pu en juger, la lueur devait ressembler au long

n'était pas interceptée, disaient-ils, par une pièce de velours noir, ni par une planche de sapin placée à plat au-dessus des pôles; mais ils déclarèrent qu'elle était obscurcie immédiatement, quand ces corps étaient placés entre les yeux de l'observateur et l'image, l'obscurité absolue continuant dans ce cas de subsister. Quand on intercepta le courant, les deux observateurs s'écrièrent ensemble que la lueur avait disparu.

Le courant fut alors lancé et interrompu à intervalles irréguliers dans la chambre voisine, et les exclamations des observateurs dans la chambre obscure furent consignées avec soin par les personnes chargées de manœuvrer le commutateur. — Le commutateur agissait sans bruit et rien n'indiquait d'ailleurs le moment des rétablissements et des interruptions du courant. Pendant l'expérience, M. Smith se tenait près de l'électro-aimant avec l'un de nous, et éloigné des parois qui séparaient la chambre obscure de la chambre plus éclairée.

Après quelques expériences préliminaires pour l'essai des dispositions, une série continue d'observations de plus d'une heure fut faite par M. Smith. De temps en temps, pendant cette période, les observateurs de la pièce voisine rétablissaient ou rompaient le circuit silencieusement et sans prévenir, à des intervalles variant depuis quelques secondes jusqu'à plusieurs minutes.

Dans ces conditions, quatorze expériences successives furent faites, et, toutes les fois, excepté une, les exclamations de M. Smith (« Le voilà ! » Il a disparu...) concordèrent absolument avec le mouvement du commutateur d'après le témoignage unanime des expérimentateurs de la salle voisine. Dans le seul cas d'exception signalé, cinq secondes se passèrent entre le moment de la rupture du courant et l'annonce faite par M. Smith, ce qui s'explique d'ailleurs par un défaut d'attention momentanée de sa part. La concentration de l'attention était en effet telle qu'après la quatorzième observation, M. Smith se plaignit d'une vive souffrance dans les

courant ascendant de vapeur aqueuse faiblement que l'on voit dans la flamme de l'hydrogène pur, brûlant dans une pièce entièrement obscure. J'ai parlé de cette lueur dans ma communication sur « quelques effets physiques produits par la flamme de l'hydrogène » (*Phil. mag.*, nov. 1863.)

yeux et dans la tête et était visiblement très fatigué. Plus tard deux ou trois expériences furent reprises pendant une demi-heure, mais les résultats furent incertains et doivent, ce me semble, être complètement éliminés. Il est à remarquer que MM. Smith et Wells n'ont jamais dans aucune circonstance manifesté une puissance de vision extraordinaire pour les objets placés dans la pièce obscure.

Des expériences analogues furent faites un autre soir avec le jeune Wells avec des résultats très satisfaisants. D'après son témoignage, la lueur lui paraissait plus brillante et plus grande, et lorsqu'on interrompait le courant, elle ne s'éteignait pas brusquement, mais tombait, s'effaçait rapidement (*).

Wells fut aussi mis à l'épreuve dans la chambre obscure avec deux aimants permanents en fer à cheval et voyait nettement la lueur de chacun d'eux. A son insu, je changeai en silence la position des deux aimants : il vit immédiatement où ils étaient mis. Je pris un des aimants à la main; Wells me dit sans se tromper si je l'élevais, si je l'abaissais ou si je le laissais immobile. Cette expérience fut renouvelée avec succès.

Beaucoup de questions intéressantes se posent d'elles-mêmes, telles que l'analyse photographique et spectrale de la lueur; est-elle polarisée, ou susceptible de le devenir; la raréfaction et le déplacement de l'air autour des pôles modifient-elles la lueur, etc?... La réponse à ces questions ainsi que l'examen des phénomènes accessoires remarquables qui se présentent (variation de l'intensité lumineuse dans les différents azimuths, parallèlement ou perpendiculairement à l'axe magnétique, effets de certains corps placés dans le champ magnétique...), feront l'objet des études de la commission, puisque l'existence du fait primitif a été suffisamment établie par plusieurs observateurs. Le but de la présente note est surtout de démontrer qu'il existe un cas probant *à priori* à l'appui de l'hypothèse d'une lueur particulière et inexpliquée, analogue à la phosphorescence qui se produit dans la région de l'atmosphère la plus voisine des pôles magnétiques, et qui est visible seulement pour certaines personnes.

(*Philosophical Magazine*).

(*) Il y avait beaucoup de magnétisme rémanent dans l'électro-aimant.

BIBLIOGRAPHIE.

Formulaire pratique de l'Électricien, par E. HOSPITALIER.

Le titre de ce livre indique ce qu'il est : il a pour but de fournir aux électriciens les formules qu'ils auraient à chercher dans un nombre considérable de traités français ou étrangers, les notions fondamentales qui se rattachent aux différentes opérations électriques qu'ils peuvent avoir à exécuter, et les méthodes qui sont susceptibles de leur être utiles dans leurs expériences.

La *première partie* renferme, résumés aussi succinctement que possible, les définitions, les principes et les lois générales; dans la *deuxième partie* consacrée aux unités de mesure, sont définies les unités pratiques basées sur le système C. G. S., adoptées par le Congrès international des électriciens de 1881.

Des tables à double entrée donnent les relations numériques de ces unités pratiques à celles qui ont été ou sont encore quelquefois en usage en France et à l'étranger.

Dans la *troisième partie*, sont passés en revue les appareils et les méthodes de mesure dont l'électricien fait un usage direct et constant. Viennent ensuite les renseignements pratiques, formules algébriques, tables trigonométriques, tableaux de densités, de barométrie, de thermométrie, etc., qui éviteront aux opérateurs bien des calculs et bien des recherches; résistances électriques des différents corps, conducteurs, aimants et électro-aimants, documents fondamentaux de la science électrique pratique. La production et les applications de l'électricité, piles primaires et secondaires, piles thermo-électriques, électro-métallurgie, générateurs mécaniques d'électricité, moteurs, transmission de force à distance, lumière électrique, télégraphie et téléphonie, forment la *quatrième partie* de l'ouvrage, dont la dernière sous le nom de *recettes et procédés*, comprend les formules des divers composés utilisés dans les applications de l'électricité, alliages, acides, soudures, vernis, matière isolante, etc., etc.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 Mai-Juin

RAPPORT

SUR LES MACHINES ÉLECTRO-DYNAMIQUES

APPLIQUÉES

A LA TRANSMISSION DU TRAVAIL MÉCANIQUE

DE M. MARCEL DEPREZ

RAPPORT DE M. CORNU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

(Suite.)

Le fait capital est qu'on a atteint le transport de près de *quatre chevaux et demi* à travers une résistance effective de 160 ohms, représentant une double ligne télégraphique de $8^{km},5$ de longueur.

Quant au rendement brut, il représente 37 1/2 p. 100 du travail dépensé; c'est le chiffre qu'on peut adopter si l'on veut tenir compte dans une certaine mesure des pertes que toute machine motrice absorbe pour son fonctionnement et qu'on rencontre, quel que soit le moteur employé. Si, au contraire, on veut faire abstraction

du moteur mécanique pour s'attacher exclusivement au résultat produit par les transformations successives de l'énergie, on peut dire que le rendement dynamométrique a dépassé 48 p. 100.

A quelque point de vue qu'on se place, ces résultats sont considérables et feront époque dans l'histoire du grand problème industriel et scientifique auquel M. Marcel Deprez consacre ses efforts depuis plusieurs années.

La discussion des chiffres du tableau paraît indiquer que, si la quantité de travail transmis va en augmentant avec la vitesse des machines, le rendement a passé par un maximum, pour une vitesse de la génératrice voisine de 850 tours. Cette conclusion, déduite de résultats trop peu nombreux, n'aurait pas d'importance si les expériences du 18 février ne conduisaient pas à la même remarque (*).

Nous la signalons en passant, afin que les études ultérieures puissent éclaircir cette conclusion, qui ne s'accorde pas avec ce qu'on pense généralement à ce sujet. En revanche, on remarquera que la quantité de travail transmis croît plus que proportionnellement à la vitesse

(*) *Chiffres déduits des Tableaux de M. Tresca* (*loc. cit.*, p. 332).

NUMÉRO de l'expérience.	NOMBRE de tours par minute de la génératrice.	TRAVAIL mécanique fourni à la génératrice.	TRAVAIL recueilli à la réceptrice.	RENDEMENT, transmission déduite.	REMARQUES.
		ch.	ch.	ch.	Le rendement de la réceptrice a pu être légèrement amélioré dans les expériences du 4 mars, par suite de la suppression d'un coussinet et d'un nouveau calage des balais.
VI	792	7,852	3,211	0,409	
VII	705	7,101	2,711	0,382	
IX	876	8,853	3,611	0,408	
X	883	8,966	3,683	0,411	

de la génératrice, mais en convergeant vers la proportionnalité.

Cette remarque tend à démontrer que la génératrice n'a pas encore atteint le maximum de son effet, et qu'une rotation plus rapide permettrait de transmettre une quantité de travail notablement plus grande.

L'expérience confirme d'ailleurs, sous une autre forme, cette manière de voir : à ces grandes vitesses de la génératrice, la réceptrice dont on faisait usage, et qui était une ancienne machine Gramme modifiée, paraissait avoir atteint son maximum de transmission. Ses collecteurs étaient le siège d'étincelles continues extrêmement brillantes, et souvent des cercles de feu entouraient subitement toute la périphérie de l'arbre; la machine était en quelque sorte saturée, et il y aurait eu danger de la détruire si on lui avait imposé un travail électrique plus considérable. La génératrice fonctionnait au contraire d'une manière beaucoup plus régulière ; les étincelles aux collecteurs étaient faibles; il est donc fort probable, suivant l'opinion de M. Deprez, qu'on eût obtenu une transmission plus considérable et un rendement plus grand si l'on avait pu disposer comme réceptrice d'une machine identique à la génératrice (*).

(*) Lors de l'étude de cette génératrice en vue de la détermination de sa caractéristique à la vitesse de 740 tours par minute, l'intensité en court circuit (250^{ohms}) a, d'après les registres d'expériences de M. Deprez, atteint $9^{\text{amp}},80$, ce qui correspond à une dépense de plus de 30 chevaux-vapeur : elle aurait même, paraît-il, absorbé accidentellement jusqu'à 50 chevaux-vapeur.

RÉSULTATS ÉLECTRIQUES.

NUMÉROS de l'expérience.	NOMBRE de tours par minute de la		INTENSITÉ	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes de la		RÉSISTANCE effective de la ligne télégraphique	FORCE électromotrice totale développée dans la		RENDEMENT électrique
	génératrice N.	réceptrice n.	I.	génératrice U.	réceptrice u.	$\frac{U-u}{I}$.	génératrice E.	réceptrice e.	$\frac{e}{E}$.
			amp.	volts	volts	ohms	volts	volts	volts
I	378	104	2,39	722	321	167	855	116	0,136
II	370	88	2,52	745	355	155	888	138	0,155
VI	923	709	2,52	2086	1685	159	2229	1468	0,658
VII	850	643	2,57	1937	1479	179	2083	1258	0,604
VIII	1029	790	2,50	2338	1994	138	2480	1779	0,717
			Valeur moyenne.			159,6			

Le premier résultat à constater sur ce tableau, c'est que la ligne télégraphique a sensiblement présenté pendant la transmission de la force, c'est-à-dire avec un courant d'environ 2^{amp},5, la résistance de 160 ohms qu'on lui trouve avec le courant de 0^{amp},01 pendant les essais préalables. C'est ce que montre la colonne intitulée *Résistance effective de la ligne télégraphique*, obtenue en divisant par l'intensité I la différence U — *u* qui représente en définitive la différence de potentiel aux extrémités de la ligne : la moyenne des résultats, 159,6, coïncide avec le chiffre 160, déterminé bien des fois.

La divergence des résultats partiels provient des oscillations inévitables de la vitesse des machines, et surtout de l'impossibilité où l'on était de faire des mesures de U, *u*, I absolument simultanées.

Cette identité entre la résistance effective de la ligne et la résistance mesurée est très importante au point de vue de l'accord entre la théorie et l'expérience pour l'analyse des phénomènes de transformation d'énergie

dans le circuit. Elle montre que la consommation d'énergie nécessaire pour franchir la résistance de 160 ohms est, pratiquement, exactement égale à la valeur prévue par la théorie. Cette quantité d'énergie, exprimée en kilogrammètres par seconde, est égale à $\frac{\rho I^2}{g}$ et, en chevaux-vapeur, $\frac{\rho I^2}{75g}$. Comme l'intensité du courant est restée sensiblement constante et égale à $2^{\text{amp}},5$, la perte de travail mécanique est égale, pendant toute la série, à environ

$$\frac{160 \times \overline{2,5}^2}{75 \times 9,81} = 1^{\text{ch}},358.$$

On sait que cette quantité d'énergie est disséminée sous forme de chaleur.

Un autre résultat conforme à la théorie est la proportionnalité des forces électromotrices à la vitesse, l'intensité restant constante : si, en effet, on calcule les quotients

$$\frac{E}{N} \quad \text{et} \quad \frac{e}{n},$$

on trouve

		Expériences				
		I.	II.	VI.	VII.	VIII.
Génératrice. . .	$\frac{E}{N}$	2,26	2,40	2,41	2,45	2,42
Réceptrice. . . .	$\frac{e}{n}$	1,12	1,57	2,07	1,96	2,23

Pour la génératrice, la proportionnalité est très satisfaisante; pour la réceptrice, elle le devient dans les expériences où la vitesse n a été bien mesurée.

La dernière colonne donne le rapport des forces électromotrices totales $\frac{e}{E}$ développées dans chaque machine;

on sait depuis longtemps que ce rapport représente le rendement dynamométrique lorsqu'on néglige les phénomènes d'induction qui accompagnent toujours la production du courant principal dans les machines dynamo-électriques. En effet, d'après le théorème bien connu de la conservation de l'énergie, on a

$$EI = T_m, \quad eI = T_u,$$

en appelant T_m le travail réellement cédé à la génératrice et T_u le travail recueilli à la réceptrice. D'où l'on conclut

$$\frac{e}{E} = \frac{T_u}{T_m},$$

ce qui démontre l'identité des deux rendements.

On remarquera que E et e sont liés par la loi de Ohm, qu'on écrira, en appelant R et r les résistances intérieures des deux machines,

$$(R + r + \rho)I = E - e,$$

c'est-à-dire

$$\rho I = (E - RI) - (e + rI) = U - u,$$

relation vérifiée ci-dessus avec exactitude.

L'expérience montre que le rendement électrique est notablement plus élevé que le rendement dynamométrique : de là une objection grave à la validité de la théorie électrique du transport de la force.

Heureusement il est facile de trouver l'origine de ce désaccord : comme nous avons vu que le désaccord n'est pas sur la ligne des transmissions, il ne peut se rencontrer qu'aux sièges de la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement.

Or l'expérience fournit l'évaluation de l'énergie électrique dans chaque machine ; on peut donc la comparer

directement avec les chiffres dynamométriques T_m et T observés d'autre part.

On sait qu'on exprime l'énergie électrique en chevaux-vapeur en divisant les produits EI et eI par $75g$ ($g=9,81$): on formera donc aisément le tableau suivant :

NUMÉRO de l'expérience.	ÉNERGIE ÉLECTRIQUE développée		TRAVAIL mécanique		COEFFICIENT PRATIQUE de transformation	
	dans la génératrice $\frac{EI}{75g}$.	dans la réceptrice $\frac{eI}{75g}$.	cédé à la génératrice T_m.	recueilli à la réceptrice T_u.	pour la génératrice.	pour la réceptrice.
	ch	ch.	ch.	ch.	H	h
I	2,668	0,362	3,296	0,578	0,809	1,596 ?
II	2,923	0,454	3,331	0,489	0,877	1,077 ?
VI	7,336	4,831	8,259	3,939	0,888	0,815
VII	6,991	4,222	7,408	3,572	0,944	0,846
VIII	8,097	5,809	9,731	4,439	0,832	0,764
		Moyenne.			0,870	0,806

On reconnaît que dans chacune des machines l'énergie créée est inférieure à l'énergie dépensée dont elle devrait être théoriquement l'équivalent (*) : dans les deux cas, bien que les transformations soient inverses, il y a donc déperdition d'énergie utilisable, de sorte que si l'on désigne par H le coefficient pratique de transformation de la génératrice et par h celui de la réceptrice, correspondant à leurs allures, on doit substituer aux équations de la conservation de l'énergie les relations

$$EI = HT_m, \quad h.eI = T_u,$$

(*) Il n'y a pas lieu de s'arrêter à l'anomalie présentée par la réceptrice dans les expériences I et II : le travail recueilli a vraisemblablement été estimé trop haut, par suite de la difficulté de maintenir le frein à ces faibles vitesses : le frein a probablement été quelques instants un peu desserré, ce qui a augmenté momentanément la vitesse sans travail correspondant.

de sorte que le rendement dynamométrique devient

$$\frac{T_u}{T_m} = Hh\,\frac{e}{E}.$$

On voit ainsi pourquoi le rendement dynamométrique est toujours moindre que le rendement électrique; quant aux coefficients h et H, ils dépendent évidemment de la construction des machines et de leurs vitesses. Il est donc probable que le produit hH est variable avec cette vitesse (*). Cette analyse du jeu des transformations d'énergie dans les machines dynamo-électriques montre que les choses paraissent se passer exactement comme dans toutes les machines où un travail mécanique se transmet, bien que la nature des actions intermédiaires soit toute différente; le coefficient pratique de rendement des moteurs s'élève peu au-dessus de 75 p. 100.

Les machines examinées par la commission donnent 87 et 81 p. 100, soit en moyenne 84 p. 100 dans chacune de leurs transformations (**) : on peut donc dire que, vu leur grande résistance, elles sont dans de bonnes conditions; mais on voit en même temps qu'il reste une marge de 13 p. 100 dans la meilleure machine pour atteindre le maximum de perfection de H, qui est l'unité.

Cette discussion montre clairement que le rendement pratique de la transmission est représenté par le produit de trois facteurs

$$\frac{e}{E},\quad H \text{ et } h.$$

(*) L'examen des nombres précédents et de ceux de la série du 28 février tendraient à faire penser que ce produit, voisin de l'unité pour les faibles vitesses, diminue rapidement avec les grandes vitesses. Cela expliquerait la singularité du maximum de rendement indiqué plus haut.

(**) On retrouve dans les expériences faites à l'Exposition d'électricité, par MM. Allard, Joubert, Le Blanc, Potier et Tresca, ce chiffre de 87 p. 100 pour le rendement électrique moyen des machines à lumière. (Voir *Comptes rendus*, t. XCV, p. 811.)

M. M. Deprez a atteint pour le premier une valeur, 0,717, bien supérieure à celles qu'on a obtenues jusqu'ici avec un circuit aussi résistant : mais ces conditions de grande résistance et de faible intensité ont eu probablement pour effet d'abaisser les deux autres, H et h, qui, dans les bonnes machines à lumière, fonctionnant avec des courants intenses, ont dépassé 0,90. Cette remarque indique la voie à suivre pour essayer de nouveaux perfectionnements.

Il reste à dire quelques mots des principes qui ont conduit M. Deprez aux résultats qui viennent d'être exposés.

Réduite à sa plus simple expression, l'idée de l'auteur a consisté à remarquer que la perte d'énergie sous forme de chaleur disséminée le long du circuit (laquelle forme la difficulté en quelque sorte irréductible du problème) est proportionnelle au *carré* de l'intensité du courant employé, tandis que le travail transmis et le travail dépensé sont proportionnels au produit de la force électromotrice E ou e par la *première puissance* de l'intensité. Or, comme il existe entre ces quantités la relation

$$EI - eI = (R + r + \rho)I^2,$$

on voit que le rapport de la quantité perdue $(R + r + \rho)I^2$ à la quantité recueillie eI peut devenir théoriquement aussi petit qu'on le veut, à la condition de diminuer le rapport $\frac{I}{e}$.

M. Deprez s'est donc attaché à construire des machines pouvant fonctionner avec des courants d'intensité relativement faible, tout en produisant des forces électromotrices considérables.

Toutefois cette condition n'est pas la seule à remplir :

il faut que l'accroissement du facteur $(R+r+\rho)$ ne compense pas la diminution du facteur $\frac{1}{e}$; or, pour obtenir une grande force électromotrice dans une machine dynamo-électrique, sans dépasser des vitesses acceptées dans la pratique, il est nécessaire d'augmenter la longueur du fil induit et du fil inducteur. On est alors entre deux difficultés également grandes qui forment une sorte de dilemme.

Ou bien on multipliera les tours de fil sans en changer le volume, et l'on est conduit à des machines à fil fin dont la résistance accroît rapidement celle qu'il s'agit de combattre; ou bien on essayera de diminuer la résistance électrique par l'accroissement du diamètre des fils, ce qui grandira dans des proportions fâcheuses le volume et, par suite, le prix de revient de la machine.

Les variables du problème ne sont donc pas pratiquement indépendantes, et c'est dans le choix judicieux des éléments disponibles que l'ingénieur peut arriver à des progrès notables; en particulier, il doit se préoccuper de produire un champ magnétique aussi intense que possible avec une résistance donnée du fil inducteur.

C'est surtout dans cette voie de l'accroissement de la puissance des inducteurs que M. Deprez a dirigé ses efforts : il a su obtenir des inducteurs dont le champ magnétique, à dépense égale d'énergie et pour de faibles intensités, l'emporte de beaucoup sur celui des machines de même poids connues jusqu'ici.

Ainsi l'intensité moyenne du champ magnétique (*)

(*) On désigne ici par *intensité moyenne du champ magnétique* l'intensité qu'il faudrait supposer au champ magnétique compris entre les pièces polaires et le fer de l'anneau, si la distribution du magnétisme était uniforme sur les deux pièces polaires (considérées comme des demi-cylindres), de telle façon que les lignes de forces fussent normales

de la génératrice s'élève à environ 1033 unités absolues : elle ne coûte en kilogrammètres par seconde que $\frac{20^{\text{ohms}} \times (2^{\text{amp}},5)^2}{g} = 12^{\text{kgm}}74$ ou $0^{\text{chev}},170$. La réceptrice (machine Gramme type D, transformée) est beaucoup moins avantageuse sous ce rapport : l'intensité moyenne de son champ magnétique n'est que de 718 unités ou les trois quarts du précédent : tandis qu'elle coûte $\frac{47^{\text{ohms}} \times (2^{\text{amp}},5)^2}{g} = 29^{\text{kgm}},94$, ou $0^{\text{ch}},400$, c'est-à-dire deux fois et demie davantage.

L'emploi de ces grandes forces électromotrices ne laisse pas que de présenter des difficultés assez sérieuses

à la surface de l'anneau. On calcule cette intensité φ en remarquant que la force électromotrice E se développe seulement dans les fils extérieurs parallèles à l'axe de rotation et qu'elle est égale au travail des forces électromagnétiques qui s'exercent sur ces fils supposés parcourus par un courant égal à l'unité : par conséquent, en appelant l la longueur totale efficace du fil induit,

$$E = \varphi \times l\pi ND,$$

D étant le diamètre moyen de la couche extérieure des fils ; comme approximation, on peut prendre l égal au quart de la longueur totale du fil, car les forces électromotrices ne s'ajoutent que dans une moitié de l'anneau. Si l'on introduit le poids P total et le diamètre d du fil employé, dont Δ est le poids spécifique, on obtient l'expression

$$\varphi = \frac{E_1}{D} \frac{\Delta d^2}{P} \times 10^8,$$

E_1 étant la force électromotrice, pour un tour par seconde, exprimée en volts.

Les tableaux précédents permettent de conclure la valeur de E_1 pour chacune des deux machines : on trouve en moyenne $\frac{E}{N} = 2^{\text{volts}},42$, correspondant à un tour par minute, pour la génératrice et $2^{\text{volts}},19$ pour la réceptrice.

Il suffit de savoir, en outre, que le poids total du fil de cuivre, déduction faite de l'isolant, est de 44 kilogrammes sur l'ensemble des deux anneaux de la génératrice comme sur l'anneau de la réceptrice et que le diamètre de ce fil est de $0^{\text{m}},001$; on a admis $\Delta = 8,8$ pour le poids spécifique du cuivre.

et exige une grande prudence, non seulement pour la sécurité des personnes chargées de manier les machines, mais pour la conservation des machines elles-mêmes : en effet, lorsque la résistance du circuit ou la vitesse d'une machine vient à varier brusquement, l'intensité du courant acquiert une valeur énorme : la chaleur développée peut détruire les isolants et mettre les machines hors de service. Aussi est-il nécessaire, pour la mise en marche ou l'arrêt des appareils, de prendre des précautions spéciales, telles que l'introduction ou la suppression de résistances auxiliaires.

Il reste donc, de ce côté, des questions importantes à résoudre pour rendre facile, et en quelque sorte automatique, l'usage de ces machines; il est juste d'ajouter que M. Deprez s'est occupé de résoudre ces difficultés et a imaginé plusieurs dispositifs ingénieux qui simplifient toutes ces manœuvres.

En résumé, les résultats obtenus par M. M. Deprez, conformes de tout point aux principes théoriques qui doivent guider les ingénieurs, dépassent de beaucoup tout ce qui a été accompli avant lui par la grandeur du travail transmis comparée à la résistance du conducteur de transmission et, de plus, sont remarquables par le rendement mécanique obtenu.

La machine qu'il a conçue et exécutée présente des perfectionnements notables sur celles que l'on construit aujourd'hui pour le même usage; elle aurait vraisemblablement conduit à des résultats encore plus avantageux si elle avait pu être construite une seconde fois pour former la réceptrice.

La Commission n'a pas qualité pour juger la valeur économique et l'avenir industriel des résultats obtenus;

mais, après l'examen approfondi auquel elle s'est livrée des appareils et des principes mis en œuvre, elle n'hésite pas à proclamer l'importance des faits qu'elle a été à même de constater.

En conséquence, elle propose à l'Académie de féliciter M. Marcel Deprez des progrès importants qu'il a accomplis dans la solution du problème si intéressant du transport électrique de l'énergie et de l'encourager à poursuivre ses travaux, en continuant à mettre, comme il l'a fait jusqu'ici, les ressources d'un esprit ingénieux au service des principes les mieux établis de la science électrique.

EXTENSION DE LA LOI D'OHM

AUX CIRCUITS ÉLECTROMOTEURS COMPLEXES.

Théorème. — *Etant donné un système quelconque de conducteurs linéaires reliés de manière qu'aux extrémités de chacun d'eux en aboutisse au moins un second, et renfermant des forces électromotrices quelconques* E_1, E_2,... E_n, *réparties d'une manière quelconque, on considère deux points* A *et* A' *appartenant au système et possédant actuellement des potentiels* V *et* V'. *Si l'on vient à réunir les points* A *et* A' *par un fil* ABA' *de résistance* r, *ne contenant pas de force électromotrice, les potentiels des points* A *et* A' *prennent des valeurs différentes de* V *et* V', *mais le courant* i *qui circule dans ce fil est donné par la formule* $i = \frac{V - V'}{r + R}$, *dans laquelle* R *représente la résistance du système primitif mesurée entre les points* A *et* A' *considérés comme électrodes.*

Ainsi, la formule d'Ohm est applicable, non seulement aux circuits électromoteurs simples et présentant des pôles bien définis, comme une pile ou une machine électrique à courant continu, mais à un réseau quelconque de conducteurs, que l'on peut dès lors considérer comme un électromoteur à pôles arbitraires, dont la force électromotrice est, dans chaque cas, égale à la

différence des potentiels préexistant aux deux points choisis pour pôles. Cette règle, qui ne semble pas avoir été indiquée jusqu'à ce jour, peut être d'un usage très commode dans certains calculs théoriques. Au point de vue pratique, elle permet d'évaluer immédiatement, au moyen de deux données faciles à obtenir expérimentalement, l'intensité du courant qui traversera un branchement que l'on viendrait à greffer sur un réseau quelconque, sans qu'on ait à se préoccuper autrement de la constitution intérieure de ce réseau.

Pour démontrer le théorème, supposons qu'on introduise dans le conducteur ABA′ une force électromotrice —E, égale et opposée à la différence de potentiel V—V′; il est clair qu'aucun courant ne traversera le conducteur ABA′. Ainsi, le système des forces électromotrices —E, E_1... E_n, donne lieu à une distribution de courants, parmi lesquels celui qui traverse le conducteur ABA′ est nul.

Supposons maintenant que, dans ce même conducteur ABA′ on introduise, conjointement avec la première, une seconde force électromotrice + E, égale à la différence de potentiel V — V′, et de même sens. En vertu du principe de l'indépendance des forces électromotrices simultanées, la force électromotrice + E donne naissance à une nouvelle distribution de courants qui se superpose simplement à la précédente. Parmi ces nouveaux courants, celui qui traverse le conducteur ABA′ est précisément le courant cherché i, puisque les effets des forces + E et — E, égales et opposées, s'annulent. Ce courant i, étant dû à la seule force $+E = V - V'$, dont le siège est dans la branche r, on peut poser, d'après la loi d'Ohm, $i = \frac{V - V'}{r + R}$, et la signification de

la quantité R apparaît immédiatement ; c'est la résistance d'un fil pouvant remplacer entre les points A et A' le réseau primitif de conducteurs, sans que le débit propre d'une source constante d'électricité qui existerait dans la branche *r* en soit modifié. La quantité R a donc une signification physique précise, et on peut l'appeler la résistance du réseau primitif mesurée entre les points A et A' considérés comme électrodes. L'énoncé du théorème résulte immédiatement de cette définition.

THÉVENIN.

SUR LES CONDITIONS DE SENSIBILITÉ

DU PONT DE WHEATSTONE.

Lorsqu'on se propose, non seulement de démontrer la condition d'équilibre du pont de Wheatstone, mais de discuter les meilleures conditions d'établissement de l'expérience, on a généralement recours aux *équations de Kirchoff*, qui fournissent six relations distinctes, dont on tire l'intensité i du courant dans la branche du galvanomètre en fonction de la force électromotrice de la pile et des résistances des six branches. Faisant $i = 0$, on trouve la condition d'équilibre $ac - bd = 0$. D'autre part, en discutant la valeur générale de i, on peut parvenir à trouver les différentes conditions de sensibilité.

Toutefois, la résolution des six équations constitue un calcul qui, bien que facile, est long et fastidieux. En outre, la recherche de l'une au moins des conditions relatives à la sensibilité, en prenant pour point de départ l'expression générale de i, conduit à des développements analytiques assez longs. On se propose d'arriver plus directement aux conditions de sensibilité, qui peuvent se classer en quatre paragraphes.

I. *Condition relative aux résistances des côtés du quadrilatère.*

Les praticiens ont reconnu qu'il y a commodité et avantage à donner aux quatre côtés du quadrilatère la

même résistance, quelles que soient d'ailleurs les résistances du galvanomètre et de la pile. Schwendler a cherché à donner de ce fait une explication purement analytique dans ses *Instructions for testing* (vol. I, p. 9), mais sa méthode exige l'établissement préalable de la formule qui donne l'intensité du courant dans la branche du galvanomètre, et la recherche du maximum se fait par un calcul compliqué, dont l'auteur n'établit pas suffisamment la validité. On peut arriver au résultat par les raisonnements suivants, qui ne supposent que la connaissance de la condition d'équilibre $ac - bd = 0$, si facile à établir géométriquement.

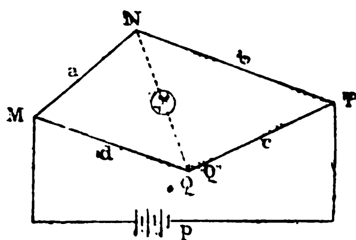
Le problème se ramène facilement à celui-ci :

Étant donnée une résistance qu'on peut représenter par une certaine longueur l de fil uniforme, répartir cette longueur entre les quatre côtés a, b, c, d du quadrilatère, de façon à obtenir l'arrangement le plus sensible, lorsqu'on vient à déroger infiniment peu et d'ailleurs d'une manière quelconque à la condition $ac - bd = 0$.

Choisissons arbitrairement les quatre longueurs a, b, c, d sous les seules conditions qu'on ait $a + b + c + d = l$ et $ac - bd = 0$.

Si nous prenons pour zéro de l'échelle des potentiels le potentiel au sommet M, nous obtenons, en ouvrant le quadrilatère en ce point et le développant en ligne droite, le diagramme indicatif du potentiel ci-dessous, dans lequel la longueur Pp représente le potentiel V au sommet P. Les points n et q

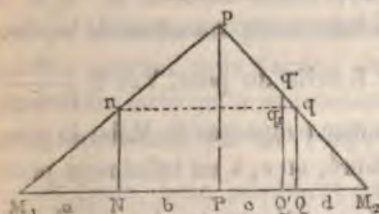
Fig. 1.



sont, en vertu de la relation $ac - bd = 0$, sur une parallèle à la base du triangle.

1° Donnons à $b + c$ et $a + d$ des valeurs arbitrairement choisies, et cherchons quelles sont les meilleures valeurs à donner à $a + b$ et $c + d$.

Fig. 2.



En un point Q', infiniment voisin de Q, le potentiel est égal à $Qq + q_1q'$, ou bien $Nn + q_1q'$. L'ensemble des quatre côtés du quadrilatère et de la diagonale de pile peut donc, d'après le théorème énoncé dans ce numéro des *Annales*, page 222, être considéré comme un électromoteur dont les pôles sont les points N et Q'. Sa force électromotrice est q_1q'. Calculons sa résistance intérieure : si le point Q' coïncidait avec le point Q, cette résistance serait évidemment indépendante de la résistance p de la diagonale MP et aurait pour valeur $\frac{(b+c)(a+d)}{l}$; le point Q' étant infiniment voisin de Q, la résistance véritable ne diffère de cette expression que d'une quantité infiniment petite. Par conséquent, si l'on vient à réunir les points N et Q' par la branche du galvanomètre, elle sera traversée par un courant dont l'intensité sera $\frac{q_1q'}{g + \frac{(b+c)(a+d)}{l}}$. D'après notre hypothèse, $b + c$ et $a + d$ sont constants; la déviation est donc d'autant plus grande que q_1q' est plus grand. Or, le diagramme montre qu'on a $q_1q' = QQ'\frac{V}{c+d}$. Il faut

donc avoir simultanément $V = \text{maximum}$, et $c + d = \text{minimum}$.

En faisant le même raisonnement pour un très petit déplacement du point N, on est conduit aux conditions $V = \text{maximum}$, et $a + b = \text{minimum}$.

Or, en désignant par E la force électromotrice de la pile, par p sa résistance, par R celle du pont, $V = E\frac{R}{R+p}$, expression maxima en même temps que R. Mais, le pont étant sensiblement équilibré, on a, à un infiniment petit près, $R = \frac{(a+b)(c+d)}{l}$, et, comme $a+b+c+d = l$, V est maximum, lorsque $a + b = c + d$.

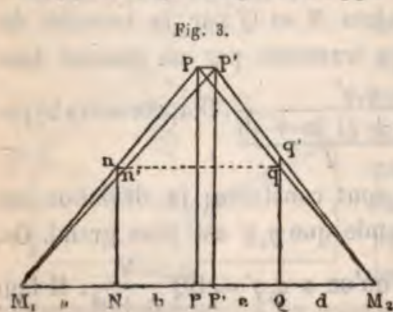
Quant aux conditions $a + b = \text{minimum}$, $c + d = \text{minimum}$, il est impossible d'y satisfaire simultanément, puisqu'on a $a + b + c + d = l$. Mais, en posant $a + b = c + d$, comme nous venons de le faire, la sensibilité sera *la même* pour chacun des deux déplacements considérés.

Le triangle M_1pM_2 doit donc être isocèle.

2° Supposons le triangle isocèle, et, comme il en résulte $a = d$, $c = b$, cherchons la meilleure valeur à donner à d.

Supposons que le point d'application P de la pile soit déplacé en P′ d'une quantité infiniment petite ; la résistance du pont, étant maxima pour $a + b = c + d$, ne variera que d'un infiniment petit du second ordre ; il en est de même du po-

Fig. 3.

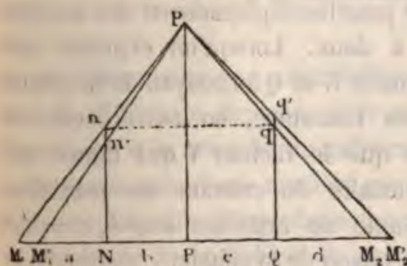


tentiel au sommet P, et ce potentiel s'obtiendra par suite en menant par p la parallèle pp' à la base du triangle. Les potentiels en N et Q s'obtiendront en prenant les intersections des droites Nn et M_1p', Qq et M_2p'. Si donc on vient à réunir les points Q et N par la branche du galvanomètre, elle sera traversée par un courant sous l'action de l'électromoteur défini plus haut, mais qui a maintenant une force électromotrice représentée par $nn' + qq'$, et une résistance intérieure égale, à un infiniment petit près, à $\frac{2d(l-2d)}{l}$.

La déviation de l'aiguille est donc proportionnelle à $\frac{nn'+qq'}{g+\frac{2d(l-2d)}{l}}$. Or, la simple inspection de la figure montre que le numérateur croît, lorsque la droite nq se rapproche du sommet du triangle, et, d'un autre côté, le dénominateur, quel que soit g, est minimum, soit pour $d=0$, soit pour $d=\frac{l}{2}$. En s'attachant à la seconde de ces deux valeurs de d, on se trouve conduit à placer la droite nq aussi près que possible du sommet.

D'autre part, déplaçons le point M d'une quantité infiniment petite, ce qui se traduit sur le diagramme par les deux déplacements égaux et de même sens $M_1M'_1$ et $M_2M'_2$. Comme précédemment, le potentiel au point P ne varie que d'un infiniment petit du second ordre,

Fig. 4.



et les nouveaux potentiels aux points N et Q s'obtiennent en prenant les intersections des droites Nn et M_1p, Qq et M_2p. En fermant la branche du galvanomètre, on a encore pour l'intensité du courant qui traverse cette branche l'expression $i = \frac{nn' + qq'}{g + \frac{2d(l-2d)}{l}}$. En ce qui concerne le numérateur, l'inspection de la figure conduit à rapprocher la droite nq de la base du triangle, et, si l'on s'attache à la valeur $d = 0$ qui rend le dénominateur minimum, on se trouve confirmé dans cette conclusion.

Si l'on veut que la sensibilité soit *la même pour chacun des deux déplacements considérés*, on doit placer la droite nq à égale distance du sommet et de la base.

Le triangle étant isocèle, il en résulte $a = b = c = d$. C'est le résultat annoncé, mais il est intéressant de remarquer que ces relations n'entraînent pas à proprement parler un maximum de sensibilité. En effet, ainsi qu'on l'a vu, les conditions correspondant aux maxima de sensibilité relatifs aux déplacements des divers sommets considérés individuellement sont incompatibles entre elles ; tout ce qui est en notre pouvoir se réduit à obtenir une sensibilité *égale* pour les déplacements des sommets opposés pris deux à deux. Lorsqu'on exprime cette égalité pour les sommets N et Q au moyen de la relation $a + b = c + d$, il se rencontre, en outre, cette circonstance favorable que le facteur V qui figure dans l'expression de l'intensité du courant est maximum. Mais, quant au couple de relations $a = b$, $c = d$, il n'est justifié que par raison de symétrie.

Il est d'ailleurs aisé de vérifier que, lorsqu'on a

$a = b = c = d$, la sensibilité est la même pour les déplacements des quatre sommets.

II. *Condition relative à la résistance de la bobine du galvanomètre.*

Les côtés du quadrilatère ayant des résistances a, b, c, d, satisfaisant à la relation $ac - bd = 0$, considérons un point Q′ infiniment voisin de Q, et soit ε la différence des potentiels en Q′ et en N. Si l'on réunit les points N et Q′ par la branche du galvanomètre, l'aiguille prend une déviation qu'il s'agit de rendre maxima, en disposant cette fois de la résistance g du galvanomètre.

La branche NQ′ est traversée par un courant possédant une intensité i, que nous pourrons calculer, comme nous l'avons déjà remarqué, si nous connaissons la résistance intérieure de l'électromoteur agissant sur cette branche. Or, l'électromoteur a pour pôles les sommets N et Q′, et sa résistance intérieure est constituée par les côtés du quadrilatère et la diagonale contenant la pile. Le pont étant sensiblement équilibré, la valeur de cette résistance se réduit, à un infiniment petit près, à l'expression $\frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}$. On a donc

$$i = \frac{\varepsilon}{g + \frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}},$$

et on remarquera que ε est indépendant de g, puisque c'est la différence des potentiels en Q′ et en N *avant* la fermeture de la branche du galvanomètre.

Or on sait que, d'une manière générale, l'action magnétique sur l'aiguille d'un galvanomètre est maxima lorsque la résistance de la bobine du galvanomètre est égale à celle du circuit extérieur. On aura donc, dans le cas ac-

tuel, le maximum de sensibilité, lorsque

$$g = \frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}.$$

III. *Condition relative à la résistance de la pile.*

Soit, comme précédemment, i l'intensité du courant dans la branche du galvanomètre réunissant le point N au point Q' infiniment voisin de Q, et soit I l'intensité du courant dans la branche de pile. Il est clair que i est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à I. On peut donc poser

$$i = \mathrm{KI},$$

ou bien, puisque le pont est sensiblement équilibré,

$$i = \frac{\mathrm{KE}}{p + \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d}},$$

E et p représentant la force électromotrice et la résistance de la pile. Il est d'ailleurs évident que le coefficient K est indépendant de p, la distribution du courant total I entre les côtés du quadrilatère et la diagonale du galvanomètre ne pouvant dépendre que des résistances de ces dernières parties du circuit.

On est donc ramené à chercher le meilleur montage à adopter pour une pile, afin d'obtenir une intensité de courant maxima, étant donnée la résistance du circuit extérieur. Or un calcul bien connu prouve que ce résultat est atteint, lorsque la pile et le circuit extérieur possèdent la même résistance. Dans le cas actuel, le maximum de sensibilité correspondra donc au montage avec lequel on a

$$p = \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d}.$$

IV. Les six résistances a, b, c, d, p, g étant supposées

inégales, on se propose de trouver s'il vaut mieux placer le galvanomètre dans la diagonale NQ ou dans la diagonale MP.

Supposons, comme nous l'avons fait jusqu'ici, le galvanomètre placé dans la diagonale NQ, et soit i l'intensité du courant qui le traverse, lorsque le contact a lieu en Q'. On a vu, dans les paragraphes précédents, que i est inversement proportionnel à $g + \frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}$ et à $p + \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d}$, et ne dépend pas autrement de p et de g. Il en résulte qu'on a

$$i = \frac{C}{\left[g + \frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}\right]\left[p + \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d}\right]} = \frac{C}{\Delta},$$

C étant une fonction de E, a, b, c, d.

Si maintenant l'on échange la pile et le galvanomètre, on aura une nouvelle intensité i_1 dont la valeur s'obtient en échangeant simplement p et g dans la formule précédente :

$$i_1 = \frac{C}{\left[p + \frac{(a+d)(b+c)}{a+b+c+d}\right]\left[g + \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d}\right]} = \frac{C}{\Delta_1}.$$

Pour que la première disposition soit la plus sensible, il faut $i > i_1$, ou bien $\Delta < \Delta_1$.

Or, on a

$$\Delta - \Delta_1 = \frac{(p-g)(c-a)(d-b)}{a+b+c+d}.$$

Supposons que a soit la plus petite des quatre résistances a, b, c, d. En tenant compte de la condition $ac - bd = 0$, on reconnaît qu'elles ne peuvent alors se ranger par ordre de grandeurs croissantes que de deux manières :

1° a, b, d, c. Dans ce cas, si $p > g$, c'est la seconde disposition qui est la plus sensible. Si, au contraire, on a $p < g$, comme cela a lieu le plus souvent, c'est la première qui mérite la préférence.

2° a, d, b, c. Les conclusions précédentes doivent s'échanger l'une dans l'autre.

THÉVENIN.

NOUVELLE PILE A OXYDE DE CUIVRE

DE MM. F. DE LALANDE ET F. CHAPERON.

Nous sommes arrivés à établir une nouvelle pile à un seul liquide et à dépolarisant solide en associant l'oxyde de cuivre, la potasse caustique et le zinc.

Cette pile jouit de propriétés remarquables.

Il est facile de former avec l'oxyde de cuivre des électrodes dépolarisantes. Il suffit pour cela de le maintenir en contact avec une lame ou un vase de fer ou de cuivre constituant le pôle positif de l'élément.

La *fig.* 1 représente une disposition très simple. Au fond d'un vase de verre V nous plaçons une boîte de tôle de fer A renfermant l'oxyde de cuivre B. A cette boîte est fixé un fil de cuivre isolé du zinc par un bout de tube de caoutchouc. Le zinc est constitué par un gros fil de ce métal enroulé sous forme de spirale D et suspendue à un couvercle E qui porte une borne F réunie au zinc; un tube de caoutchouc G recouvre le zinc à l'endroit où il plonge dans le liquide, pour l'empêcher de se couper à ce niveau. Le vase est rempli d'une solution de

Fig. 1.



potasse à 30 ou 40 p. 100. Cette disposition est analogue à celle d'un élément Callaud, avec cette différence que le dépolarisant est solide et insoluble.

Pour éviter les inconvénients de la manipulation de la potasse, nous enfermons la quantité de ce corps à l'état solide nécessaire pour un élément dans la boîte qui doit recevoir l'oxyde de cuivre et la munissons d'un couvercle maintenu par un bracelet de caoutchouc. Il suffit alors pour monter la pile d'ouvrir la boîte à potasse, de la placer au fond du vase et d'ajouter de l'eau pour dissoudre la potasse; on y verse ensuite l'oxyde de cuivre renfermé dans un sac.

Nous formons également avec l'oxyde de cuivre des agglomérés dont l'emploi est fort commode. Parmi les divers moyens qui peuvent être employés, nous préférons le suivant.

Nous mélangeons à l'oxyde de cuivre de l'oxychlorure de magnésium en pâte de façon à transformer le tout en une masse épaisse que nous introduisons dans les boîtes métalliques.

La masse fait prise au bout de quelque temps ou même très rapidement par l'action de la chaleur et donne des agglomérés poreux de solidité croissante avec la quantité du ciment employé (5 à 10 p. 100).

La *fig.* 2 représente une disposition à agglomérés. Le vase V est muni d'un couvercle de cuivre E se vissant sur le verre. Ce couvercle porte deux lames verticales de tôle A, A', contre lesquelles sont maintenus des agglomérés prismatiques B, B', au moyen de liens de caoutchouc. La borne C portée par le couvercle constitue le pôle positif. Le zinc est formé par un simple crayon D passant dans un tube fixé au centre du couvercle. Le caoutchouc G est replié sur ce tube de façon à produire

un joint étanche. Le couvercle porte en outre un autre tube H recouvert par un tube de caoutchouc fendu qui forme soupape. La fermeture est rendue hermétique au moyen d'un bracelet de caoutchouc K qui s'applique sur le verre et sur le couvercle. La potasse en morceaux destinée à charger l'élément est renfermée soit dans le vase de verre lui-même soit dans une boîte de tôle séparée.

Fig. 2.



En appliquant la même disposition nous formons des éléments hermétiques à une seule plaque dépolarisante d'un volume très réduit.

L'emploi de vases en fer, fonte ou cuivre, qui restent inattaqués par le liquide excitateur nous permet de construire facilement des éléments à grandes surfaces (*fig.* 3). Le vase A formant le pôle positif de la pile est

Fig. 3.



en tôle de fer brasée sur les arêtes verticales : il a 40 centimètres de longueur sur 20 centimètres de largeur et 10 centimètres environ de hauteur. On recouvre

le fond d'une couche d'oxyde de cuivre et on dispose dans les quatre angles des isolateurs L en porcelaine qui supportent une plaque de zinc horizontale D, D' redressée verticalement à l'une de ses extrémités et maintenue à distance de l'oxyde de cuivre et des parois métalliques du vase ; celui-ci est rempli aux trois quarts par une solution de potasse. Les bornes C et M fixées respectivement au vase de tôle et au zinc servent à attacher les rhéophores. Pour éviter l'absorption trop rapide de l'acide carbonique de l'air par une grande surface, nous la recouvrons d'une mince couche de pétrole lourd (corps ininflammable et sans odeur) ou bien encore nous munissons la pile d'un couvercle. Ces éléments se superposent facilement de façon à occuper peu de place (*).

Sans insister davantage sur des dispositions qui peuvent être variées d'une infinité de façons, nous allons signaler les propriétés principales de la pile à oxyde de cuivre, zinc et potasse. Comme les piles à dépolarisant solide, la nouvelle pile présente l'avantage de ne consommer les produits qu'elle contient qu'en proportion de son travail. Le zinc amalgamé et le cuivre ne sont, en effet, nullement attaqués par la solution alcaline, c'est donc une pile de durée.

Sa force électromotrice à l'origine est très voisine de 1 volt. Sa résistance intérieure est très faible. On peut l'évaluer à 1/3 ou 1/4 d'ohm pour les surfaces polaires d'un décimètre carré séparées l'une de l'autre par une distance de cinq centimètres. Le débit de ces couples est considérable. Les petits modèles représentés par les *fig.* 1 et 2 peuvent donner environ deux ampères en

(*) Ces piles sont construites par la maison de Branville et Ce, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève, à Paris.

court circuit, le grand modèle donne couramment 15 à 20 ampères. Deux de ces éléments peuvent remplacer un élément Bunsen de grand modèle.

Ces éléments jouissent d'une constance très remarquable. On peut dire qu'avec une surface dépolarisante double de celle du zinc, la pile peut travailler sans polarisation notable et presque jusqu'à complet épuisement dans les conditions même les plus défavorables. La transformation des produits, le changement de l'alcali en zincate alcalin ne font pas varier sensiblement la résistance intérieure. Cette grande constance est due surtout à la réduction progressive de l'électrode dépolarisante à l'état de métal très bon conducteur, ce qui augmente singulièrement la conductibilité et son pouvoir dépolarisant.

Le peroxyde de manganèse qui forme la base d'une pile excellente pour donner un petit débit, possède à l'origine une meilleure conductibilité que l'oxyde de cuivre, mais cette propriété se perd par la réduction et la transformation en oxydes inférieurs. Il s'en suit que la pile à cuivre peut donner une très grande quantité d'électricité en travaillant sur de faibles résistances, tandis que dans ces conditions les piles au manganèse sont rapidement polarisées.

L'énergie contenue dans la pile à oxyde de cuivre et de potasse est très grande et bien supérieure à celle emmagasinée par un accumulateur du même poids, mais le débit est beaucoup moins rapide. La potasse peut être employée en solutions concentrées, à 30, 40, 60 p. 100; La potasse solide peut dissoudre l'oxyde de zinc provenant d'un poids de zinc supérieur au tiers de son propre poids. La quantité d'oxyde de cuivre à employer dépasse de 1/4 environ le poids du zinc qui entre en réaction.

Ces données permettent de condenser des produits nécessaires sous un poids relativement faible.

Les piles à oxyde de cuivre ont donné des résultats intéressants dans leur application aux téléphones. Pour les auditions théâtrales, elles permettent d'employer la même batterie pendant toute la durée du spectacle au lieu de quatre ou cinq batteries. Leur durée est considérable : trois éléments ont pu actionner d'une façon continue, nuit et jour, des microphones Edison à pastille de charbon plus de quatre mois, sans affaiblissement sensible.

Nos éléments travaillent pendant des centaines d'heures sur de faibles résistances et ce travail peut leur être demandé à un moment quelconque, par exemple plusieurs mois après qu'ils ont été montés. Il faut seulement les protéger par un couvercle contre l'action de l'acide carbonique de l'air.

Nous préférons la potasse à la soude pour les piles ordinaires, malgré son prix et son équivalent plus élevés parce qu'elle ne donne pas naissance comme la soude à des sels grimpants.

Divers modes de régénération rendent cette pile très économique. Le cuivre réduit absorbe facilement l'oxygène par simple exposition à l'air humide et peut servir à nouveau. Un grillage oxydant produit très rapidement le même résultat.

Enfin en traitant la pile épuisée comme un accumulateur, c'est-à-dire en y faisant passer un courant inverse, on ramène les divers produits à leur état primitif; le cuivre absorbe intégralement l'oxygène et l'alcali se régénère pendant que le zinc se dépose; mais l'état spongieux du zinc déposé oblige à le soumettre à une nou-

velle manipulation ou à le recevoir sur un support de mercure.

Du reste l'oxyde de cuivre que nous employons étant un déchet des ateliers de laminage et de chaudronnerie, destiné à être réduit, ne perd nullement de sa valeur par sa réduction dans la pile : la dépolarisation peut donc être considérée comme se faisant à peu près sans frais.

En résumé, la pile à oxyde de cuivre est une pile de durée et de quantité qui, par ses propriétés spéciales, nous semble appelée à remplacer avantageusement dans un grand nombre d'applications les piles actuellement connues.

THÉORIE DU MAGNÉTISME

PAR M. LE PROF. D. E. HUGHES, F. R. S.

Nous reproduisons, d'après le *Journal de Berne*, la traduction d'une conférence sur la théorie du magnétisme faite par M. Hughes à la Société des ingénieurs télégraphiques de Londres, dans la séance du 24 mai dernier:

Il a été longtemps admis que le magnétisme est de nature moléculaire. Évidemment, en effet, quel que soit le nombre de fois que l'on divise un aimant, l'on trouve toujours ses deux pôles dans chaque fragment séparé. L'on peut donc aisément se figurer la division poussée si loin que l'on arrive enfin à la molécule même, possédant ses deux pôles distincts. Aussi toutes les théories de magnétisme s'efforcent-elles d'expliquer la cause de cette polarité moléculaire et la raison de la neutralité qu'accuse la masse de fer.

Coulomb et Poisson supposent que chaque molécule est une sphère renfermant deux fluides magnétiques distincts, qui, à l'état neutre, sont mêlés ensemble, mais qui, polarisés, se séparent de deux côtés opposés; et pour expliquer comment ces fluides se maintiennent séparés, comme c'est le cas dans un aimant permanent, il leur faut admettre encore que chaque molécule contient une force coercitive particulière dont le rôle est d'empêcher tout changement ou mélange des fluides, une fois séparés.

L'exactitude de cette hypothèse ne s'appuie sur aucune preuve expérimentale, et en ce qui concerne la force coercitive, il y a des preuves expérimentales qui contredisent directement cette manière de voir, puisque nous savons que la rigidité ou fermeté moléculaire, comme dans l'acier trempé, et la liberté ou mollesse moléculaire, comme dans le fer doux, satisfont à toutes les conditions pour lesquelles on a imaginé cette hypothèse de force coercitive.

La théorie d'Ampère, basée sur l'analogie avec les courants électriques, suppose que des courants élémentaires circulent autour de chaque molécule et qu'à l'état neutre ces molécules sont distribuées au hasard dans toutes les directions, mais que l'aimantation consiste à les disposer symétriquement.

Les objections que soulève la théorie d'Ampère sont nombreuses :

1° Nous n'avons aucune connaissance ou preuve expérimentale d'aucun courant élémentaire circulant continuellement sans aucune dépense d'énergie.

2° Si nous admettons l'hypothèse de courants électriques autour de chaque molécule, la molécule elle-même serait électro-magnétique et la question reste toujours : Qu'est-ce que la polarité ? Les courants électriques qu'on suppose ont-ils séparé les deux fluides magnétiques qu'on admet contenus dans la molécule, comme dans la théorie de Poisson, ou les courants électriques sont-ils eux-mêmes magnétiques, indépendamment de la molécule de fer ?

Pour produire la distribution hétérogène de neutralité que l'on suppose, les courants d'Ampère devraient soit changer leur position sur la molécule et n'auraient aucun axe fixe de rotation ou, autrement, la molécule,

avec ses courants et ses polarités, tournerait et se comporterait ainsi conformément à la théorie de la Rive.

3° La théorie d'Ampère n'explique pas pourquoi (comme c'est le cas dans le fer doux) la polarité disparaîtrait avec la cause excitatrice, ainsi que cela a lieu dans une aimantation passagère. Elle impliquerait donc dans le fer la présence d'une force coercitive qui obligerait juste la moitié des molécules à renverser instantanément leur direction, afin de passer de l'état de polarité extérieure apparente à l'état de neutralité.

L'influence qu'exercent sur le fer les vibrations mécaniques et le frottement pour faciliter ou décharger son magnétisme, comme l'a prouvé Matteucci, en 1847, jointe à la découverte faite par Page, en 1837, d'un mouvement moléculaire se produisant dans le fer pendant son aimantation et donnant des sons perceptibles, ainsi que la découverte du Dr Joule, en 1842, de l'élongation du fer quand il est aimanté, ont conduit de la Rive, dans son célèbre « Traité d'électricité », 1853, à exposer dans les termes remarquables qui suivent ses idées théoriques sur le magnétisme :

« L'ensemble des phénomènes magnétiques moléculaires que nous avons étudiés nous porte à croire que l'aimantation d'un corps est due à une distribution particulière de ses molécules, douées originalement d'une vertu magnétique, mais qui, à l'état naturel, sont ainsi distribuées que le magnétisme du corps qu'elles constituent ne se manifeste pas. Le magnétisme consisterait donc à troubler cet état d'équilibre ou à donner aux particules une distribution qui rende manifeste la propriété dont elles sont douées, mais qui ne la produit pas. La force coercitive serait la résistance qu'éprouvent les molécules à changer leurs positions relatives. »

Wiedermann, en 1861, donne une théorie où il admet les fluides de Poisson ou les courants élémentaires d'Ampère, comme cause de la polarité de la molécule, mais il croit qu'à l'état de polarité, les molécules sont tournées dans une même direction et qu'à l'état neutre elles sont, comme les axes magnétiques des molécules d'Ampère, dirigées dans tous les sens.

Maxwell, dans son remarquable traité « Électricité et magnétisme », 1881, page 75, résume ainsi la théorie de Weber :

« La théorie de Weber diffère de celle de Poisson en ce qu'elle suppose que les molécules de fer sont toujours des aimants, même avant l'application de la force magnétisante, mais que dans le fer ordinaire les axes magnétiques des molécules sont indifféremment tournés dans n'importe quelle direction, de sorte que, dans son ensemble, le fer n'accuse aucune propriété magnétique. » Et plus loin, page 429, Maxwell dit encore qu'il adhère à la manière de voir de Weber et que cette neutralité, c'est-à-dire le fer non aimanté, a les axes de ses molécules placés indifféremment dans toutes les directions et que l'acte de l'aimantation consiste à tourner toutes les molécules de façon que leurs axes soient tous ou rendus parallèles à une certaine direction ou, au moins, inclinés dans cette direction.

J'ai rappelé ces différentes théories où il est admis que la polarité est inhérente à la molécule et qui, sous ce rapport, concordent entièrement avec la mienne propre ; mais la balance d'induction fait de suite voir qu'elles sont erronées dans leur partie la plus importante, car mes recherches ont prouvé que la neutralité est parfaitement symétrique, qu'il n'y a pas de cas de neutralité où les axes des molécules sont indifféremment tournés

dans toutes les directions et que l'on ne peut obtenir de neutralité parfaite que si les molécules forment un circuit complet d'attraction.

L'on devrait, je crois, admettre comme évident qu'une théorie du magnétisme ne doit présenter aucune anomalie et être en état d'expliquer pleinement tous les effets connus.

De nombreuses recherches m'ont amené graduellement à établir une théorie du magnétisme entièrement basée sur des résultats expérimentaux qui m'ont amené aux conclusions suivantes :

1° Chaque molécule d'une pièce de fer, acier ou autre métal magnétique, est un aimant séparé et indépendant, ayant ses deux pôles et sa distribution de polarité exactement semblable au magnétisme total qui se manifeste sur une barre d'acier aimantée.

2° Chaque molécule, ou sa polarité, peut être tournée dans n'importe quelle direction sur son axe, par torsion, frottement ou forces physiques telles que le magnétisme et l'électricité.

3° La polarité ou magnétisme inhérent de chaque molécule est une quantité constante, comme la gravité ; on ne peut ni l'augmenter ni la détruire.

4° Quand on constate une neutralité extérieure ou absence de magnétisme apparent, les molécules ou leurs polarités se distribuent d'elles-mêmes de façon à satisfaire à leur mutuelle attraction par la voie la plus courte et forment ainsi un circuit complet d'attraction.

5° Lorsque le magnétisme se manifeste, les molécules ou leurs polarités sont toutes tournées symétriquement dans une direction donnée, présentant un pôle nord si la rotation a eu lieu dans cette direction par rapport à la pièce d'acier ou un pôle sud si elles ont tourné dans

la direction opposée. Donc, dans le cas où le magnétisme se manifeste, l'on a encore une distribution symétrique, mais une distribution dont les cercles d'attraction ne sont pas complétés, si ce n'est par une armature extérieure joignant les deux pôles.

6° Le magnétisme est permanent quand la rigidité moléculaire, comme dans l'acier trempé, retient les molécules dans une direction donnée et il est passager, toutes les fois que les molécules tournent avec une liberté relative, comme dans le fer doux.

Preuves expérimentales.

Dans la théorie ci-dessus, la force coercitive de Poisson est remplacée par la rigidité ou la liberté moléculaire ; et comme on connaît bien les effets qu'ont les vibrations mécaniques, la torsion ou le frottement, pour faire paraître ou disparaître le magnétisme, je veux, avant de démontrer les parties les plus importantes de la théorie, citer un petit nombre d'expériences pour prouver que la rigidité moléculaire satisfait à toutes les exigences pour lesquelles on a imaginé une force coercitive.

On peut constater l'influence des vibrations, de la torsion ou de toute espèce de frottement sur une tige d'acier ou de fer aimantée, en frappant avec un maillet de bois des tiges d'acier fort et doux, et aussi de er fort et doux, aimantée préalablement à un degré connu. L'acier trempé, grâce à sa rigidité moléculaire, ne perdra que 5, l'acier doux 60, le fer dur 50 et le fer doux suédois 99 p. 100 de son magnétisme, la quantité de perte ne dépendant pas tant de la nature du métal — acier ou fer — que de son degré de force ou de mollesse. Or, comme il faut une force bien

plus grande pour aimanter au même degré l'acier dur que le fer, l'on peut imaginer un acier tellement dur que ses molécules ne pourraient tourner et dans lequel, par conséquent, une force inductrice donnée ne pourrait manifester aucune aimantation, tandis qu'un fer parfaitement doux donnerait le maximum d'effet et reviendrait instantanément à son état antérieur. De là, on pourrait supposer, par erreur, que le fer doux suédois ne saurait garder son aimantation et que son état naturel serait zéro ou la neutralité. Mais ici cette disparition apparente de magnétisme est due à l'extrême liberté de mouvement des molécules qui leur permet d'obéir de suite à la force dirigeante, relativement faible, du magnétisme de la terre. On peut le démontrer facilement en aimantant une tige de fer doux tenue verticalement, de façon que son pôle nord soit à sa partie inférieure. En écartant l'aimant inducteur ou la bobine électro-magnétique, on trouve que la tige conserve une polarité nord puissante; mais si elle est aimantée en sens contraire, on n'a plus, après l'éloignement de la cause inductrice, que des traces d'aimantation. Pour réussir cette expérience, comme toutes les autres où il est question de fer doux, il faut employer le meilleur fer au charbon de bois de Suède, complètement recuit à haute température.

Nous trouvons encore que les tiges d'acier ou de fer perdront beaucoup moins de magnétisme si elles vibrent dans le méridien magnétique, ou verticalement si leurs pôles nord sont à leur extrémité inférieure, que si elles sont horizontales ou, encore moins, que si leurs pôles sont contraires à ceux du champ de la terre, et aussi qu'elles acquerront leur maximum d'aimantation d'une cause excitatrice donnée, lorsqu'elles sont placées verticale-

ment comme il est indiqué plus haut et que les molécules conservent une plus grande liberté de mouvement pour obéir à l'influence directrice des vibrations, de la torsion, du frottement ou du battage du fer. Toute influence qui tendrait à augmenter cette liberté de mouvement, comme la chaleur ou des trépidations mécaniques, donne au fer une force magnétique beaucoup plus grande que celle que l'on pourrait obtenir sans cela.

Pour faire ressortir les effets du mouvement sur l'aimantation, prenons deux tubes de verre ou fioles ordinaires de n'importe quelle longueur ou diamètre, par exemple, de 10 centimètres de longueur sur 2 de diamètre. Si maintenant nous remplissons de limaille de fer ces tubes aux deux tiers, pour conserver à la limaille toute liberté de mouvement quand on secoue le tube, nous trouvons que chaque tube, si la limaille est aimantée, conserve une quantité égale de magnétisme résiduel et que le tout disparaît à une légère secousse du tube. Nous imitons ainsi les effets de vibration. Mais si dans l'un de ces tubes nous ajoutons de la résine (en fait tout liquide un peu visqueux, comme le pétrole, suffit) nous rendons alors cette limaille plus rigide et nous ne pouvons produire, par la secousse, la disparition de son magnétisme résiduel. En y versant du pétrole, il semble que que nous avons introduit une force coercitive énergique, mais nous savons que cette addition ne peut avoir que l'effet mécanique de rendre la limaille de fer moins libre de tourner et ainsi relativement rigide. Si l'on désire constater l'effet de la torsion, nous n'avons qu'à secouer la limaille de façon que le tube étant horizontal, l'espace vide soit au-dessus, et à tourner le tube légèrement, mais sans secousse sur son axe horizontal. Le magnétisme rémanent de la limaille disparaît instantanément à la ro-

tation, bien qu'évidemment nous n'ayons pas changé la position horizontale de ses particules. C'est un effet semblable qui se produit sur une tige de fer doux, car si on l'aimante et si on observe son magnétisme rémanent, on trouve qu'en imprimant une légère torsion à la tige, ce magnétisme disparaît instantanément — résultat analogue à ce qui a lieu en tournant le tube de limaille de fer. Mais si le fer est rendu plus rigide par le martelage ou l'acier rendu dur et rigide par la trempe, les torsions ou les vibrations n'ont que peu d'effet, comme dans le cas de la limaille rendue rigide comme ci-dessus. Nous n'avons donc plus besoin de supposer une force coercitive mystérieuse pour expliquer la rétention du magnétisme, car une fois connus les propriétés mécaniques du fer et de l'acier et leur degré de rigidité ou de dureté moléculaire, nous pouvons immédiatement prévoir leur puissance magnétique rétentive.

Rotation des molécules avec polarisation inhérente.

La torsion, aussi bien que les vibrations mécaniques, a comme nous l'avons vu, une puissante influence pour aider les molécules à triompher de leur inertie et leur faciliter ainsi de tourner dans la direction de l'influence inductrice ; nous pouvons donc polariser fortement une tige plate de fer doux, simplement en la fléchissant ou la faisant vibrer quand elle est maintenue verticalement, et si nous mesurons la force magnétique obtenue, nous remarquerons que cette force est rigoureusement en proportion avec le degré de douceur du fer. Ainsi, avec l'acier dur nous n'obtenons que des traces de polarisation, tandis que le fer doux suédois extrêmement pur nous donne le maximum de force. La barre de fer ou d'acier,

maintenue dans le champ magnétique de la terre, d'une dimension infinie comparativement avec la barre et infiniment homogène, ne peut dévier ni affaiblir le champ qui l'entoure. Sa partie inférieure étant nord, paraît fortifier ce champ par sa réaction, tandis que sa position supérieure, sud, paraît l'affaiblir ; mais, comme l'a montré Maxwell « les deux pôles de chaque molécule sont égaux et opposés, par conséquent, le résultat pour chaque molécule et pour toute la masse doit être zéro. »

Nous avons une polarité induite bien plus grande dans le fer ou l'acier, quand le fer est sous forme de barreaux minces ou de petits fils, et cela nous devions nous y attendre, puisque les molécules extérieures tournent directement sous l'influence du magnétisme de la terre, tandis que celles qui forment l'intérieur du barreau ou bien tournent facilement, ou bien, comme dans les cas de barres très épaisses, agissent en réalité comme une armature, empêchant par leur influence la libre rotation des molécules extérieures.

Ainsi, comme dans un barreau de fer la somme des deux polarités égales est zéro, il est évident que cette polarité doit être inhérente. Je possède du fil de fer doux suédois remarquablement pur, d'un millimètre de diamètre, et comme sa force polaire inhérente paraissait grande quand il était maintenu verticalement dans le champ magnétique de la terre, j'ai mesuré cette force dans la balance d'induction, en la comparant avec une colonne semblable de l'atmosphère magnétique qu'il déplaçait. La polarité inhérente de ce fil, simplement accusée par le magnétisme terrestre, était 15,600 fois plus grande que la colonne d'air déplacée.

Nous ne pouvons, ni par induction, ni par conduction, ni par concentration, produire une plus grande force

dans un autre corps de même volume ou dimension, autrement il nous serait facile de créer une grande force avec une faible source. Il faut donc que le pouvoir magnétique énormément plus grand observé dans le fer que dans la même colonne d'air qu'il déplace soit dû à la polarité *inhérente* de ses molécules.

Parmi les nombreuses barres de fer que j'ai expérimentées, l'une, un morceau de cercle de fer ordinaire, non adouci, de deux centimètres de largeur, de 40 centimètres de longueur et de 1 1/2 millimètre d'épaisseur, possède une rigidité moléculaire suffisante pour rester en apparence réfractaire à l'influence du magnétisme terrestre. Quand cette pièce est rendue neutre, l'on obtient une faible polarité, de simples traces si on la maintient verticalement sous l'influence magnétique de la terre; mais si, dans cette position, on lui imprime un petit nombre de torsions ou de vibrations successives, on constate, de suite, une polarité plusieurs milliers de fois plus grande qu'auparavant. Maintenant si le fer avait le pouvoir de dévier ou de concentrer le magnétisme de la terre sur lui-même, il n'aurait pas besoin qu'une action mécanique vînt aider la rotation moléculaire que lui impriment ces torsions ou vibrations. Nous sommes donc forcés de conclure, au moins, à l'existence d'une polarité inhérente aux molécules, et si nous l'admettons, il nous faut aussi, comme conséquence nécessaire, admettre la rotation de ces molécules, autrement nous ne pourrions expliquer pourquoi des vibrations mécaniques qui rendent libres les mouvements de ces molécules, produiraient toujours la polarité en conformité avec la cause dirigeante. J'ai déjà montré que la torsion et les vibrations *per se* sont en apparence destructives du magnétisme; par conséquent, dans ce cas, les deux fluides de Poisson

et les courants parallèles d'Ampère devraient, suivant leur théorie, être mélangés ou hétérogènes, tandis que dans les idées que je soutiens, les molécules polarisées doivent, comme les aiguilles des compas, obéir à toute cause magnétique directrice, toutes les fois qu'une liberté suffisante de mouvement leur permet de tourner librement.

La polarité inhérente du fer peut encore s'observer en faisant passer une tige plate de fer doux sur l'un ou sur l'un et l'autre des deux pôles d'un aimant permanent. Cette tige sera alors fortement aimantée, son magnétisme rémanent, quand on le sépare de l'aimant, étant assez puissant pour dévier fortement la direction d'une aiguille suspendue. Un petit nombre de légères torsions ou vibrations suffiront alors à décharger complètement la tige. Maintenant, supposons l'opération répétée successivement plusieurs milliers de fois; s'il n'y avait pas de polarité inhérente, on aurait graduellement soutiré et déchargé dans l'atmosphère toute la polarité de l'aimant. Rien de ce genre n'a lieu. Les molécules de fer ont simplement tourné chaque fois et la seule énergie en travail dépensée ou perdue vient du bras de l'opérateur. Quant à l'énergie obtenue, elle serait rigoureusement en conformité avec la liberté moléculaire ou avec la mollesse et la dureté du fer et de l'acier. Ainsi, tandis que le fer doux pourrait aisément être polarisé et déchargé par quelques torsions mécaniques, l'acier trempé dur en exigerait une quantité beaucoup plus grande.

Le D[r] Warren de la Rue, F. R. S., a bien voulu m'aider dans cette partie de mes recherches, en faisant passer à travers des fils de fer et d'acier un courant de sa pile bien connue au chlorure d'argent. Nous avons employé un condensateur d'une capacité de 42,8 microfa-

rads, chargé par 3360 éléments. Nous avons fait passer cette énorme charge électrique longitudinalement à travers les fils et nous avons observé si un changement, et lequel, se produisait dans leur qualité ou leur polarité inhérente. Le résultat a été que ces fils présentaient, sous l'influence d'une cause directrice ou inductrice donnée, exactement la même polarité magnétique qu'auparavant. Donc, cette énorme force électrique n'avait ni changé ni détruit leur polarité originale inhérente.

Si les molécules possèdent une polarité inhérente et tournent sur leurs axes, semblablement à une série d'aiguilles de compas n'ayant qu'un léger degré de rigidité de frottement, elles devront, si on fait passer sur elles le pôle d'un aimant, tourner symétriquement dans une direction, et le passage en sens contraire du même pôle de l'aimant les fera retourner et elles resteront alors symétriquement dans la direction opposée.

C'est précisément un effet semblable qui se produit dans une tige de fer doux, placée, est et ouest, à quelques pouces au-dessus d'une aiguille directrice. En faisant passer de l'est à l'ouest, à quelques centimètres au-dessus du fil, le pôle sud d'un puissant aimant naturel, les polarités nord des molécules tournent successivement dans la direction de l'ouest, obéissant aux attractions du pôle sud, comme on l'a vu déjà pour les petites aiguilles de compas. La tige est alors aimantée avec son pôle nord à l'ouest, comme l'indique la direction d'une aiguille placée au-dessus d'une partie quelconque de cette tige. En faisant passer le même pôle sud de l'aimant naturel dans le sens opposé, les molécules tournent toutes, leurs pôles nord se dirigeant successivement vers le pôle sud de l'aimant permanent jusqu'à ce qu'ils arrivent au point où a commencé la première ai-

mantation. La tige a maintenant entièrement changé sa polarité et son pôle nord est à l'est.

Ce phénomène est bien connu dans l'aimantation ordinaire des barreaux où l'on a soin de faire toujours passer l'aimant dans le même sens, sans quoi les pôles seraient renversés à chaque passage et repassage. Pour rendre compte de ce dernier fait avec la théorie de Coulomb-Poisson, il faudrait admettre que, d'abord, tous les fluides sont séparés avec leurs fluides nord symétriquement dirigés dans une direction, mais qu'en faisant passer l'aimant, ces fluides doivent se mêler ensemble, le fluide nord passant à travers son fluide sud pour arriver finalement à une direction opposée à sa position primitive ; la force coercitive aurait alors la double fonction de permettre aux deux fluides de se mêler et de passer au travers l'un de l'autre et finalement de les séparer entièrement. Quant à la théorie d'Ampère, elle exigerait qu'au premier passage de l'aimant, les molécules passassent de leur distribution au hasard à un arrangement symétrique et que sur son repassage dans une direction inverse, la moitié des courants électriques élémentaires tournassent successivement dans une direction contraire pour arriver à la neutralité, avant, finalement, que l'autre moitié suivît la direction de la première moitié, et alors que tous ces courants tournassent dans une direction opposée à celle qu'ils ont prise sous la première aimantation. On voit ainsi que l'une et l'autre de ces théories, tout en restant complètement dans le domaine de l'hypothèse, sont extrêmement compliquées et improbables.

Avec la théorie que je défends, nous pouvons supposer qu'avec la rotation des molécules il se produirait quelque perturbation ou trépidation mécanique et c'est ce qu'on

a reconnu, en effet, comme Page l'a observé d'abord et comme l'ont vérifié ensuite le Dr Joule et de la Rive, dans les sons moléculaires qui se produisent dans le fer avec l'aimantation. C'est sur ces sons qu'est basé le premier téléphone de Reis et M. du Moncel a fait de nombreuses recherches à ce sujet.

Dans la dernière de mes expériences sus-mentionnées, les sons sont trop faibles pour être entendus, mais en employant le microphone, ces trépidations deviennent de suite perceptibles.

Que les molécules de fer et d'autres métaux tournent avec le temps, dans des périodes dont les vibrations mécaniques abrègent la durée, c'est là un fait bien connu en métallurgie, et le résultat final est généralement le passage d'un état fibreux, comme dans les fils de fer, à un haut degré de cristallisation. Pendant bien des années, j'employais une lame circulaire vibrante comme régulateur de vitesse dans mon appareil télégraphique imprimeur et bien qu'elle fût réglée par un frein qui l'empêchait de dépasser sa limite d'élasticité, cette lame se brisait constamment après quelques jours d'usage. La question étant urgente, je fis des recherches spéciales pour trouver la cause de cette rupture survenant à la suite d'une action vibratoire constante de peu de durée, et j'ai constaté au point de rupture un haut état de cristallisation. Le fer vibreux se cristalliserait complètement et se briserait en un jour, le nombre des vibrations pour un appareil en usage continu pendant 24 heures étant de 1.209.600. On peut donc, en chiffres ronds, estimer la durée du fer, sous la forme d'une de ces lames, à un million de vibrations. Le cuivre serait cristallisé en une heure et tous les métaux et alliages sont inférieurs à l'acier, excepté le bronze aluminium.

Des lames de ce dernier métal supporteraient un emploi continu de six semaines ou environ cinquante millions de vibrations. Finalement, j'ai résolu le problème en répartissant la somme du travail vibratoire sur une lame en spirale qui contient 3 mètres de tige d'acier renfermés dans le même espace qu'occupait auparavant la lame rigide de 30 centimètres. Grâce à ce moyen, la durée moyenne de ces lames s'est élevée à 5 ans. Évidemment les molécules de ces lames fibreuses doivent avoir tourné sous l'influence des vibrations, pour produire des cristaux. Le même phénomène s'observe dans les essieux des voitures qui subissent des trépidations constantes; de larges cristaux se constatent toujours au point de rupture. Un autre fait : si nous aimantons et désaimantons rapidement une tige de fer, nous produisons un développement de chaleur, dû au mouvement continu des molécules.

Maxwell décrit une expérience de Beetz, dans laquelle un filament extrêmement petit de fer a été déposé par un électrotype, sous l'influence d'un fort champ magnétique, pour arriver à la polarité inhérente d'un nombre relativement petit de molécules, et comme sa force magnétique était très grande, il considère l'expérience comme concluante. Mes propres observations montrent que l'on obtient une force magnétique extérieure beaucoup moindre d'une barre massive que d'un tube mince ou d'une tige plate de même surface exposée à une cause excitatrice limitée. Nous savons que le magnétisme ne pénètre pas à une très grande profondeur et nous savons aussi que, si à un aimant permanent d'acier mince nous adjoignons une autre pièce non aimantée, ou, mieux encore, une tige de fer doux, la polarité extérieure de l'aimant est grandement réduite; par conséquent, la mani-

festation extérieure de polarité n'est pas une mesure directe du degré de rotation, ni de la polarité totale inhérente de la masse. Nous pouvons avoir une grande rotation *extérieure* superficielle, superposée à des rotations de nature opposée, comme on le verra plus loin; les molécules intérieures d'un aimant agissent donc souvent plus ou moins comme une armature extérieure, en fermant le circuit d'attraction.

J'ai fait connaître mon opinion que la molécule elle-même possède sa polarité inhérente, qui, comme la gravité, est une qualité qui lui est propre et dont nous n'avons pas plus de raison d'attribuer la cause à des courants électriques élémentaires que de considérer ces courants élémentaires comme étant la cause de la gravité, de l'affinité chimique ou de la cohésion et de son pouvoir polaire de cristallisation, propriétés dont la plupart sont affectées par le courant électrique. Il y a une certaine analogie entre les courants électriques et le magnétisme, mais elle n'est pas aussi grande que l'analogie entre la polarité magnétique d'une molécule et ses autres propriétés.

Le magnétisme, comme l'affinité chimique, la cohésion et la cristallisation, a ses points critiques. Faraday a découvert qu'à la chaleur rouge jaune, le fer perd instantanément son pouvoir magnétique polaire apparent, pour le recouvrer instantanément à la température rouge, le point critique variant pour le fer, l'acier, etc., et étant le plus bas pour le nickel. La chose serait difficile à expliquer avec la théorie d'Ampère, car on devrait admettre que les courants élémentaires meurent ou cessent instantanément, pour revivre avec un abaissement de température de quelques degrés. Ce serait également difficile à expliquer avec mes idées, si le fait n'apparte-

nait pas à toute une classe de phénomènes provenant de ce que les molécules possèdent des propriétés variées dont la chimie et tous nos autres moyens d'investigation ne peuvent nous faire toucher que les points critiques, sans essayer d'expliquer, par exemple, pourquoi le fer a plus d'affinité pour l'oxygène que l'or. Nous savons qu'il en est ainsi; nous savons que les molécules de toutes matières sont douées de certaines propriétés ayant certains points critiques, et je ne puis voir de raison pour séparer leur polarité magnétique inhérente de leurs nombreuses autres propriétés. *(A suivre.)*

CHRONIQUE.

Projet de création d'une Société des électriciens.

Dans une nombreuse réunion composée de membres de l'Institut, d'électriciens, de fonctionnaires, de l'administration des postes et télégraphes et des principaux représentants de la presse scientifique, qui a eu lieu le 21 juin dernier au ministère des postes et des télégraphes, sous la présidence de M. Georges Berger, on a discuté le projet de création d'une société d'électriciens, et un comité a été chargé d'en élaborer les statuts.

Nous nous bornerons, pour le moment, à reproduire l'extrait suivant d'une note distribuée à tous les membres de la réunion, qui explique comment l'idée de la fondation d'une société des électriciens est venue naturellement comme suite à l'organisation des dîners mensuels d'électriciens qui avaient lieu depuis le mois de mars.

Depuis le 21 mars dernier, les électriciens français se sont réunis, chaque mois, dans un banquet où ont été discutées les questions qui intéressent la science électrique.

Le premier de ces banquets a eu lieu sous la présidence de M. Ad. Cochery, ministre des postes et des télégraphes.

La seconde assemblée a été présidée par M. Georges Berger, commissaire général de l'Exposition internationale d'électricité de 1881, et la troisième par M. le sénateur comte de Douhet.

Le succès de ces assemblées périodiques a été tel qu'il est venu à l'esprit de tout le monde que le moment était arrivé de transformer ces réunions mensuelles en une institution durable et plus féconde. Aussi, dès la troisième réunion, une commission d'initiative fut nommée d'acclamation avec man-

dat de rechercher les voies et moyens de fonder une *Société générale des électriciens.*

Cette commission comprenait MM. Georges Berger, commissaire général de l'Expositon d'électricité de 1881; A. Berthon, ingénieur du service technique de la Compagnie des téléphones; Cabanellas, ancien officier de marine et savant électricien; comte de Douhet, sénateur, dont l'intervention parlementaire fut si favorable aux électriciens à l'occasion de l'Exposition; comte d'Hallez d'Arros, ancien officier, inspirateur du premier banquet; Jablochkoff, l'inventeur bien connu de la bougie qui porte son nom; de Méritens, ingénieur électricien et constructeur des puissantes machines adoptées pour le service des phares; A. Sabourain, rédacteur de l'*Électricité* et secrétaire de la réunion; docteur Donato Tommasi, savant chimiste électricien, et l'abbé H. Valette, directeur du *Cosmos-les-Mondes*. Elle s'adjoignit M. Armengaud jeune, président de la chambre syndicale d'électricité, et se mit immédiatement à l'œuvre, sous la direction de M. Maurice Lœwy, membre de l'Institut et sous-directeur de l'Observatoire, président de la réunion du mois de juin.

La commission, pensant que, pour être utile et fécond, son programme devait recevoir la consécration solennelle et comme le baptême des sommités de la science et de l'industrie électriques, invita un grand nombre de notabilités scientifiques, membres de l'Institut, présidents ou représentants de toutes les grandes sociétés scientifiques, directeurs des observatoires et des principales écoles, ingénieurs du ministère des postes et télégraphes, ainsi que les sommités de l'électricité médicale; puis, parmi les notabilités industrielles, les chefs des principales usines ou grandes sociétés électriques; enfin, un choix aussi large que possible dans la presse, tant scientifique que politique.

L'attente et les espérances de la commission ne furent pas trompées; plus de quatre-vingts personnes répondirent à l'appel du président et se pressaient, le jeudi 21 juin, dans les salons de la maison Durand, devenue trop étroite pour la circonstance.

M. Maurice Lœwy, président, avait à sa droite M. le comte de Lesseps, à sa gauche M. Faye, ancien ministre de l'instruction

publique; en face, l'amiral Jurien de la Gravière, entouré de M. l'abbé Moigno, le savant et vénérable chanoine de Saint-Denis, fondateur du *Cosmos*, et de M. Georges Berger, commissaire général de l'Exposition d'électricité.

L'Institut était en outre représenté par MM. Breguet, Ch. Robin et Friedel. Parmi les autres convives de distinction, on remarquait MM. Blavier, Trotin et Raynaud, représentant le ministre des télégraphes; — Godron, ingénieur en chef de la marine; — les ingénieurs en chef de Lapparent (des mines), Lucas (des ponts et chaussées), Berthon (de la Société des téléphones), Marché, président de la Société des ingénieurs civils; Potier, président de la Société de physique; — Reymond, député, président de la Société des élèves de l'École centrale; — Marié-Davy, directeur de l'observatoire de Montsouris; — le comte de Douhet, sénateur; un grand nombre de constructeurs et d'électriciens, et notamment MM. Jablochkoff, de Méritens, G. Cabanellas, D. Tommasi, Maiche, Roistel, Ducrétet, J. Armengaud, Aubineau, Cormillot, Laing, Lattès, Napoli, Casalonga, etc., — le comte Hallez d'Arros; — A. Sabourain, secrétaire de cette réunion; — les docteurs Tripier, Mallèz, Apostoli, Michaels, Grenier, Lafont, Menières, Préterre. — Victor Rose, graveur-dessinateur; — un grand nombre de journalistes, tous les grands journaux de Paris s'étant fait représenter par leurs rédacteurs scientifiques, les revues scientifiques par leurs directeurs; la presse étrangère était représentée par M. de Blowitz, correspondant du *Times*; — enfin, parmi les publicistes les plus connus : MM. Louis Figuier, H. de Parville, W. de Fonvielle, Baille, Ch. Richet, Stanislas Meunier, de Nansouty, abbé M. Valette, etc.

Des discours, dans lesquels on a fait ressortir l'utilité de la transformation des dîners mensuels et de la création d'une société française des électriciens, ont ensuite été prononcés par MM. Lœwy, Cabanellas, Méritens, Marié-Davy et Armengaud, et ont été accueillis avec le plus vif enthousiasme.

Système de télégraphie optique établi par M. Adam, entre l'île Maurice et l'île de la Réunion.

Communication par M. Faye.

M. le commandant Bridet, ancien capitaine de port à la Réunion, auteur bien connu d'un ouvrage important sur les ouragans de l'émisphère austral, est venu en France, en 1881, pour tâcher d'obtenir l'établissement d'un câble télégraphique entre Maurice et la Réunion (voir les *Comptes rendus* du 18 juillet 1881). Certaines difficultés ayant arrêté l'exécution de ce projet, M. Adam, de l'île Maurice, résolut d'établir, au moyen de signaux optiques, cette communication qui intéresse si vivement la sécurité de notre colonie et des nombreux vaisseaux qui en fréquentent les rades et le nouveau port. Il est venu lui-même en France, en 1882, pour faire exécuter ses appareils et soumettre ses idées au jugement de l'Académie. L'Académie y a pris intérêt; elle a renvoyé à une Commission l'examen de ce projet (*Comptes rendus* du 2 octobre 1882). Cette Commission aura bientôt à faire son Rapport, non plus sur des idées, mais sur des faits accomplis.

En effet, la lettre suivante que je viens de recevoir de M. le commandant Bridet, par l'intermédiaire de M. l'amiral Cloué, annonce que M. Adam a pleinement réussi dans ses essais préparatoires :

« Saint-Denis, le 24 juillet 1883.

« Un fait de la plus grande importance vient de se produire à la Réunion : la communication avec Maurice par signaux optiques est réalisée.

« M. Adam, après bien des difficultés surmontées avec une persévérance digne des plus grands éloges, a eu la satisfaction de réussir huit jours seulement après avoir commencé ses signaux, et ce sera pour lui un grand honneur d'avoir tenté l'entreprise avec si peu de ressources.

« Après avoir cherché à Saint-Rose, point le plus rapproché de Maurice, il a été forcé d'y renoncer parce que les sommets habitables manquaient d'eau potable; il est donc venu

près de Saint-Denis se placer sur le piton du bois de Nèfles, à 1100 mètres d'altitude. Mais il se trouvait là à 245 kilomètres de Maurice et, la déperdition de lumière étant considérable, il craignait de ne pas être aperçu, les rayons lumineux ne passant qu'à 130 mètres au-dessus du niveau de la mer, d'après ses calculs. La station de Maurice n'est pas encore organisée, mais il avait là des amis qui surveillaient ses signaux sur le Pouce, montagne élevée de 600 mètres, et voici la lettre qu'il vient de recevoir :

« Aujourd'hui, j'ai le plaisir de vous annoncer que j'ai « aperçu ce matin, à 7h40m, 7h50m, 8h, 8h10m, 8h15m, 8h21m, « 8h26m et 8h36m, une lumière rouge orangé, d'un diamètre « au moins double de celui de Vénus; je l'ai vue et l'ai fait « voir à Eugène et à Bidessy, à la fois dans la lunette de Bar- « dou et dans celle de l'altazimut. »

« Cela se passait le 18 mai et il n'y avait que dix jours que les observations avaient commencé.

« M. Adam ne s'est encore servi que des éclats d'un miroir de 1 mètre de diamètre; il compte employer l'appareil Mangin aussitôt son arrivée à Maurice où il se rend par la malle prochaine.

« Comme il est au bois de Nèfles et qu'il ne pourra pas vous écrire par cette malle, j'ai tenu à vous prévenir de ce résultat magnifique, auquel vous avez contribué par les encouragements que vous avez donnés à notre ami. »

(*Comptes rendus.*)

Moyen de désaimanter les montres qui ont été aimantées par le voisinage d'un champ magnétique puissant.

Note de M. Deprez.

Quand une montre se trouve accidentellement maintenue dans un champ magnétique, les pièces d'acier que contient son mécanisme intérieur subissent une aimantation qui en arrête la marche. Pour remédier à cet accident, sans avoir recours au procédé extrême du remplacement des pièces ai-

mantées, il suffirait de faire naître une aimantation égale et de sens contraire à la première; mais, comme la valeur et la direction de celle-ci sont inconnues, j'ai imaginé de tourner la difficulté au moyen de l'artifice suivant.

On dispose la montre dans un champ magnétique puissant, et on lui imprime un mouvement de rotation; la polarité qui tend à se former par influence se déplacera constamment avec l'orientation des lignes de force, sans pouvoir se fixer jamais pendant toute la durée du mouvement, et toute trace de magnétisme disparaîtra de la montre si l'on parvient à la soustraire ainsi à l'action du champ qui l'entoure. Ce but est facilement atteint en la faisant tourner dans le champ magnétique, d'un mouvement hélicoïdal qui, l'éloignant graduellement, la fera échapper à une influence dont le sens et la direction varient d'ailleurs constamment jusqu'au moment où elle devient nulle.

J'ai souvent expérimenté ce procédé, toujours avec succès, sur des montres dont l'aimantation était quelquefois telle, que les secousses qu'on leur imprimait ne parvenaient même pas à les mettre momentanément en marche.

(*Comptes rendus.*)

Sur la connexion entre les éclipses de Soleil et le magnétisme terrestre.

Note du P. Denza.

La question touchant la dépendance qui existerait entre le magnétisme terrestre et le phénomène astronomique des éclipses a été soulevé de temps en temps parmi les savants. Il y en avait qui soutenaient que les variations anormales de l'aiguille, observées quelquefois pendant les éclipses de Soleil, étaient l'effet de la conjonction des deux astres; il y en avait d'autres, au contraire, pour qui une pareille relation était fort douteuse.

La discussion sur cet argument reprit avec une nouvelle et plus grande vigueur à l'époque de l'éclipse totale de Soleil du

22 décembre 1870, dans laquelle on observa, durant le phénomène, quelques anomalies spéciales dans les aiguilles aimantées établies en Sicile, dans la zone même de totalité et ailleurs en Italie.

Afin d'éclairer un fait de météorologie cosmique d'une si haute importance, on commença, après cette époque, à faire, à l'observatoire de Moncalieri, des observations régulières de la déclinaison magnétique à l'occasion des éclipses de Soleil et même de quelques éclipses de Lune. A ces époques, on observait l'aiguille de déclinaison à des intervalles très courts, de dix en dix, et plus souvent de cinq en cinq minutes, et cela pendant plusieurs heures et même pendant plusieurs jours de suite.

Les éclipses étudiées de cette manière sont au nombre de vingt : la première est celle du 22 décembre 1870 rappelée plus haut; la dernière est celle du 17 mai 1882.

J'ai publié, de temps en temps, la discussion des observations faites dans quelques-unes de ces éclipses; mais j'ai entrepris, tout récemment, la discussion générale de toutes les observations des vingt éclipses étudiées. Cette discussion m'a conduit aux conclusions suivantes :

1. Les variations de la déclinaison qui se sont produites durant la phase générale des éclipses observées, et plus encore celles des autres phases, restent dans les limites de la variation moyenne des jours qui comprennent celui de l'éclipse et sont d'accord avec elle.

2. Elles sont également d'accord avec les valeurs de la période annuelle et de la période undécennale de cette même variation, excepté les cas d'anomalie. Elles sont moindres pendant les mois d'hiver où l'amplitude de l'oscillation diurne de l'aiguille aimantée est plus petite, et plus grandes dans les autres mois, surtout dans ceux d'été où la variation diurne de la déclinaison est plus grande. Elles sont aussi relativement plus grandes dans les années plus rapprochées de la période undécennale de maximum, de 1870 à 1874; moindres dans celles qui avoisinent le minimum, de 1878 à 1880.

3. Par contre, les écarts de l'aiguille ne sont nullement d'accord avec les différents accidents du phénomène astronomique. En effet :

a. Dans les éclipses visibles de Soleil, qui sont les plus importantes, la valeur de l'écart susdit n'est pas en rapport avec la grandeur de l'éclipse.

b. On peut faire la même remarque au sujet des variations magnétiques enregistrées durant les phases, générale et centrale, des différentes éclipses. Elles ne montrent aucune correspondance ni entre elles, ni avec le phénomène. Dans quelques éclipses totales, la variation est plus grande; dans d'autres, elle est moindre que dans les éclipses annulaires, et la variation qu'on eut dans l'éclipse partielle du 26 novembre 1873 est plus forte que toutes les variations obtenues pour les éclipses totales et annulaires; tandis que celles des éclipses, également partielles, du 1er et du 31 décembre 1880, sont les plus faibles de toutes.

c. On ne rencontre non plus aucune relation entre les valeurs correspondant aux éclipses invisibles et celles des éclipses visibles.

4. Non seulement la valeur de la variation de la déclinaison magnétique ne fut en aucune manière altérée par l'influence de l'éclipse, mais pas même la marche diurne de l'aiguille, et ses déviations, prises séparément, ne furent exagérées ou troublées en aucune façon en comparaison des déviations habituelles.

Ces conclusions deviennent, pour ainsi dire, évidentes, si l'on compare les résultats des observations faites les jours des éclipses à ceux des autres jours. La comparaison est facile dans notre observatoire où, depuis 1870, on fait à des périodes déterminées des observations magnétiques de quinze en quinze minutes pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures de suite. De cette confrontation il résulte très clairement que les anomalies peu nombreuses et apparentes, qu'on a observées dans la déclinaison pendant quelques-unes des éclipses étudiées, constituent un fait ordinaire dans les mouvements de l'aiguille aimantée.

Ces mêmes conclusions sont confirmées d'une manière éclatante par quelques observations fort importantes, qui dissiperont tous les doutes, s'il en reste encore, sur la question qui nous occupe.

En effet, parmi les vingt éclipses étudiées, il y en eut trois

totales de Soleil, dans lesquelles on observa l'aiguille aimantée non seulement dans des régions éloignées de la zone de totalité, mais aussi dans cette zone elle-même, ou dans des endroits qui en étaient fort rapprochés.

Ces éclipses sont : 1° L'éclipse du 22 décembre 1870, qui fut totale en Sicile. Les observations magnétiques ont été faites en Sicile dans la zone totale et dans plusieurs stations italiennes en dehors de cette zone;

2° L'éclipse du 12 décembre 1871, qui fut totale dans l'Inde. L'aiguille aimantée a été observée à Bornéo et à Batavia;

3° L'éclipse du 17 mai 1882, qui fut totale dans diverses parties de l'Afrique et de l'Asie. Les observations magnétiques ont été faites à Zi-Ka-Wei par le P. Dechevrens et à Batavia par le Dr Bergsma.

D'après la discussion des observations magnétiques faites pendant les différentes phases des éclipses totales et celles qui concernent les autres éclipses étudiées pendant l'espace de treize ans consécutifs, je crois enfin le moment venu de pouvoir établir, avec la certitude requise en cette matière, la loi physique suivante :

La conjonction de deux astres dans les éclipses de Soleil, de même que leur opposition dans les éclipses de Lune, n'ont aucune influence sur les variations des éléments magnétiques de la Terre; et pour ce motif il n'y a aucune connexion entre les éclipses et le magnétisme terrestre.

(*Comptes rendus*)

Sur les courants d'immersion et de mouvement d'un métal dans un liquide et les courants d'émersion.

Note de M. Krouchkoll.

Deux électrodes d'un même métal plongeant dans un liquide, on sait que, si l'on met en mouvement l'une d'elles, à l'intérieur de ce liquide, il se produit un courant, dont le sens varie avec la nature du métal et du liquide en contact. Ces phénomènes ont été étudiés avec beaucoup de détails par

[.] Edm. Becquerel. On sait, d'autre part, que, l'une des élec-rodes étant plongée dans le liquide, si l'on vient à plonger autre, il se produit un courant au moment de l'immersion. 'ajouterai qu'on obtient un effet électrique du même genre u moment où l'on retire l'une des électrodes du liquide : il se roduit alors un faible courant d'émersion et je crois pouvoir noncer une relation simple entre ces trois espèces de courants :

Le courant produit par l'immersion est de sens contraire à elui que produit le mouvement; le courant d'émersion est de même sens que le courant de mouvement.

Ainsi, lorsqu'on plonge un fil de platine bien dépolarisé ans de l'eau acidulée, le fil s'électrise positivement au mo-nent de l'immersion; il devient négatif pendant son mouve-nent dans le liquide, et il devient encore négatif au moment où on le retire de ce liquide. Le même fil de platine s'élec-rise négativement au moment où on le plonge dans l'eau contenant en dissolution du sel marin ($\frac{1}{50}$), il devient positif pendant son mouvement dans le liquide, et il devient encore positif au moment où il sort de ce liquide. Les mêmes effets s'obtiennent avec de l'or pur.

Un fil d'argent fraîchement amalgamé donne dans l'eau aci-dulée les mêmes effets, quant à leur sens, que la platine et l'or, seulement les effets sont plus intenses. Dans l'eau salée, l'argent amalgamé se comporte comme dans l'eau acidulée, contrairement à ce qui se passe avec le platine et l'or.

1. Pour faire ces expériences, on se sert de deux fils de pla-tine, d'or, ou d'argent amalgamé, soudés dans du verre. Les deux fils plongent dans deux verres communiquant entre eux par un siphon. Les fils de platine et d'or sont bien lavés à l'acide azotique et portés ensuite au rouge; les fils d'argent sont fraîchement amalgamés. L'eau faiblement acidulée ou salée est préalablement bouillie. (Lorsqu'on opère avec le platine, il vaut mieux employer de l'eau acidulée bien con-centrée.) Les deux fils sont mis en communication avec un électromètre de M. Lippmann. Cet instrument peut seul être employé dans ce genre d'expériences : d'abord on évite la po-larisation de l'un des fils par l'autre, par celui que l'on re-mue; en outre, l'extrême sensibilité de l'instrument permet d'observer tous les états électriques successifs par lesquels

passe un fil métallique, depuis le moment où on le met en contact avec le liquide jusqu'au moment où on l'en retire. La partie du fil nue est recourbée à angle droit avec le tube de verre dans lequel il est soudé, afin de pouvoir plonger dans le liquide toute sa surface d'un coup et l'en retirer de la même manière. On met dans le circuit une dérivation prise sur un daniell, afin de pouvoir compenser les différences électriques qui existent presque toujours entre deux fils d'un même metal et de pouvoir partir de l'équilibre électrique le plus parfait possible.

On peut, dans ces expériences, remplacer l'air par un isolant liquide, par de la benzine, par exemple, et, au lieu de passer de l'air dans l'eau acidulée ou salée, passer de la benzine dans celle-ci. On obtient alors les mêmes effets.

2. Au cours des expériences, j'avais remarqué que l'éther, laissé quelque temps au contact de l'eau, devenait assez conducteur pour pouvoir servir à produire des courants de mouvement. J'ai remplacé l'eau acidulée par l'éther et le milieu isolant par un milieu dépolarisant : deux fils de zinc, couverts d'un dépôt électrolytique du même métal et amalgamés, plongent l'un dans une solution concentrée de sulfate de zinc, l'autre dans une couche d'éther qui surnage une couche de la même solution. On peut s'assurer qu'au moment où l'on passe du sulfate de zinc dans l'éther (*), le fils s'électrise négativement, qu'il devient positif par le mouvement dans l'éther, et qu'il acquiert une charge positive au moment où l'on repasse dans le sulfate de zinc; cette dernière est immédiatement détruite par l'effet dépolarisant du sulfate.

3. La force électromotrice produite par le mouvement est analogue à la force électromotrice de polarisation : elle se détruit immédiatement dans les solutions des sels des métaux avec lesquels on opère; lorsque ces derniers sont chimiquement purs et que les solutions salines sont suffisamment concentrées, les effets de mouvement sont nuls. Ainsi, le zinc électrolytique ne donne pas de courant de mouvement dans

(*) A ce moment, on ouvre une dérivation qui compense la force électromotrice zinc-éther. Dans toutes ces expériences, on s'arrange de manière que l'effet qu'on veut observer détruise et dépasse un effet contraire que tend à produire la compensation.

une solution un peu concentrée de sulfate de zinc; dans une solution étendue du même sel, les effets sont très faibles et la dépolarisation se produit dès qu'on laisse le métal au repos. De même pour le platine dans du chlorure de platine, pour le cuivre dans un sel de cuivre, pour l'argent dans l'azotate d'argent.

On peut expliquer ces phénomènes par l'hypothèse de M. Helmholtz sur les couches électriques doubles. D'après cette hypothèse, au contact de deux corps hétérogènes, il se forme une couche double, c'est-à-dire un système de deux couches électriques égales et de signes contraires, chaque moitié de la couche étant attachée à l'un des corps en contact. Au moment où l'on plonge le fil dans le liquide, la couche double se forme : de là, un mouvement d'électricité, qui est précisément le courant d'immersion. De même, au moment où le liquide quitte la surface du métal, cette sorte de condensateur moléculaire, dont le métal et le liquide forment les deux armatures, se défait, ses électricités deviennent libres, d'où le courant d'émersion.

Pendant le mouvement de l'électrode dans le liquide, une partie m de la couche double, celle qui adhère au liquide, ne suit pas le mouvement de l'électrode et reste en quelque sorte en route, parce que le liquide n'est pas infiniment conducteur. Sur l'électrode même, une quantité de fluide contraire m, qui était dissimulée par celle-ci, est mise en liberté. Il se produit donc, par suite du mouvement de l'électrode, une dissociation partielle du condensateur moléculaire, qui constitue la couche double, et par suite la différence de potentiel sur les armatures augmente; de là, le courant de mouvement. Cette explication du courant de mouvement a été déjà donnée par M. Helmholtz.

(*Comptes rendus.*)

Compteur d'électricité de M. Cauderay.

L'unité d'électricité étant la coulomb, c'est-à-dire l'ampère (unité d'intensité dans une seconde, prise comme unité de

temps), on comprend qu'un mécanisme réalisant à la fois l'enregistrement d'un bon ampère-mètre et d'une pendule à seconde, ou d'autre mouvement d'horlogerie, constituera un compteur d'électricité aussi parfait qu'on peut le désirer. Le mécanisme a été réalisé par M. Cauderon, de la manière suivante :

Un cylindre de dimension quelconque est mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie et fait par exemple un tour par seconde. Ce cylindre est muni de dents, comme le cylindre d'une boîte à musique, disposées sur des cercles à égale distance les uns des autres. Le cercle du milieu n'a pas de dent ; sur chacun des deux premiers cercles, à droite et à gauche du précédent, se trouve une dent ; sur les deux seconds cercles, deux dents ; sur les troisièmes trois dents, et ainsi de suite. L'aiguille indicatrice d'un galvanomètre de Marcel Deprez (ampère-mètre), construit spécialement et convenablement prolongée est placée devant le cylindre en face de la trace du milieu, et lorsqu'un courant se passe, elle ne rencontre aucune dent du cylindre. Si le courant a une intensité égale à un ampère, l'aiguille se trouve au-dessus de l'un ou l'autre des cercles munis d'une seule dent, qu'elle rencontre à chaque tour, c'est-à-dire une fois par seconde. Si l'intensité est égale à deux ampères, son extrémité se trouve en face du cercle portant deux dents qu'elle rencontre à chaque tour et ainsi de suite.

Chaque contact de l'aiguille et de l'une des dents fait avancer d'un tour, au moyen d'un mécanisme facile à concevoir, la roue d'un compteur à cadran, semblable aux compteurs à gaz, de sorte qu'au bout d'un intervalle de temps quelconque on connaît le nombre des coulombs qui ont passé dans le fil.

D'après M. Cauderay, les principaux avantages de cet appareil sont les suivants :

« 1° L'appareil entièrement mécanique, étant basé sur les effets physiques des courants bénéficie de tous les avantages de ceux-ci, comparés aux compteurs basés sur les effets chimiques.

« 2° La résistance étant invariable et très faible (environ $\frac{1}{100}$ d'ohm), permet de faire passer par les bobines de l'ap-

pareil la totalité du courant à mesurer, ce qui constitue un avantage sérieux.

« 3° Le courant peut changer de sens assez fréquemment, sans altérer l'exactitude des indications.

« 4° L'appareil peut fonctionner dans presque toutes les positions, sans cesser d'être exact, ce qui permettra de l'employer sur un bateau, sur un train, etc.

« 5° Le compteur indique directement la quantité d'électricité en *coulombs;* le calcul indiquant que la lumière fournie par 1 mètre cube de gaz d'éclairage est égale à la lumière fournie par 10.080 coulombs, brûlés dans les lampes à incandescence, on a profité de cette concordance pour graduer les cadrans de l'appareil en myria-coulombs, quantité qui sera, par ce fait, tout à fait comparable au mètre cube de gaz, dans la pratique.

« 6° Le champ magnétique de l'ampère-mètre pouvant se régler à volonté, il sera toujours très facile de l'étalonner à nouveau, si une vérification montrait qu'il est survenu, au bout de quelques années, un changement dans l'état magnétique de l'aimant. »

Expériences de téléphonie.

Nous recevons d'Amérique la nouvelle d'une expérience remarquable de téléphonie à grande distance qui a été faite, le 25 mars, par la *Postal Telegraph C°*, entre New-York et Chicago, sur une longueur de 1.000 milles (plus de 1.600 kilomètres).

Le succès de cette expérience est attribué au fil conducteur employé, dont le modèle est tout à fait nouveau. Ce fil comprend un noyau en acier pesant 200 livres par mille et pouvant résister à une traction de 1.650 livres. Sur ce noyau est déposée une couche de cuivre. Le diamètre total est de 5mm,5.

La couche de cuivre a pour but d'augmenter la conductibilité du fil, qui se trouve être sept fois plus grande que celle d'un fil de fer de même diamètre. Il résulte de là que la résis-

tance de cette nouvelle ligne étant très faible et ne dépassant pas $1^{ohm},7$ par mille, on peut communiquer avec les appareils ordinaires à des distances bien plus considérables et que maintenant Chicago se trouve, télégraphiquement, aussi près de New-York que Philadelphie.

Ces expériences de téléphonie avaient d'abord été faites au commencement du mois entre New-York et Cleveland (Ohio), sur une longueur de 700 milles. Elles viennent, comme nous l'avons dit, d'être répétées avec un plein succès entre New-York et Chicago. Les appareils employés ont été le transmetteur Happings et les téléphones Dorrance et Baxter.

Cette nouvelle, si elle se trouve confirmée par d'autres essais, constituera un grand progrès pour la téléphonie. Malheureusement les journaux américains qui nous l'apportent ne donnent pas tous les détails que nous aurions désirés. Ils ne disent pas s'il y avait des fils télégraphiques dans le voisinage du nouveau conducteur. Comme c'est surtout l'induction qui a empêché jusqu'ici la téléphonie à grande distance, ce renseignement est des plus importants.

La question du prix de revient du conducteur est aussi à considérer. Somme toute, nous devons attendre de plus amples informations avant de pouvoir nous prononcer sur la valeur de cette expérience. (*Cosmos-les-Mondes*.

Observations sur les récepteurs téléphoniques.

(Extrait de *l'Électricité*.)

Mézières, le 10 juin 1883.

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous adresser une note qu'à titre d'abonné je vous prie d'insérer dans votre journal *l'Électricité*. J'ai été amené à étudier les trois différentes parties essentielles du téléphone Bell en n'en faisant agir que deux à la fois et même une seule. On peut presque dire que, dans un appartement, tout peut servir de microphone pour transmettre les

sons et surtout ceux du piano. En y adaptant convenablement quelques grammes de charbon, on peut faire un microphone avec le plancher, une table mince, un panneau, la toile d'un tableau, une glace, un vase à parois minces, etc. On peut aussi dire que tout ce qui est fer ou acier peut servir d'appareil récepteur. Car, avec un électro-aimant en fer doux, sur lequel je pose un marteau d'acier du poids de $1^{k},200$, j'entends nettement les sons du piano transmis par un microphone. J'entends également le piano et beaucoup d'autres sons en disposant sur le même électro-aimant les objets les plus variés, une plaque mince ou épaisse de tôle ou de fer-blanc, une aiguille à tricoter, la lame d'un couteau, etc.

Agréez, monsieur, etc.

LA MARLE,
Chef d'escadron d'artillerie en retraite,
7, rue Bayard, à Mézières.

Note relative à quelques observations sur les récepteurs téléphoniques et sur les conséquences que l'on peut en tirer.

1° Dans un circuit parcouru par le courant d'une pile avec un récepteur téléphonique composé seulement d'une bobine sans aimant et fer doux et d'une petite plaque mince de fer ou d'acier complètement libre de ses mouvements, dans un petit logement qui lui est préparé, j'entends très bien les interruptions du courant, le son du piano transmis par un microphone, le bruit du tic-tac d'un réveil placé sur le microphone ou d'un métronome posé tout près. J'observe les mêmes phénomènes en substituant à la plaque libre une feuille de tôle ou fer-blanc qu'on applique sur l'oreille et qui, par conséquent, est entièrement fixée entre l'oreille et la bobine. On peut donc conclure d'abord que l'action de l'hélice sur une plaque vibrante est suffisante pour constituer un téléphone, et, en tous cas, qu'elle a son action très sensible dans un téléphone complet; ensuite, que la plaque vibrante émet des sons soit qu'elle soit fixée comme dans le téléphone Bell par son pourtour, soit qu'elle soit entièrement libre, soit qu'elle soit entièrement fixée;

2° Dans le même circuit, je prends comme téléphone

récepteur une bobine sans plaque vibrante et une aiguille à tricoter (munie à son extrémité d'une boule de cire ou de toute autre substance) que je tiens à la main, dans l'intérieur de la bobine; en introduisant la boule dans l'oreille, j'entends toutes les interruptions du courant, le son du piano et la voix chantée qui l'accompagne, le tic-tac d'un réveil ou le bruit d'un métronome. Conclusion : l'aimant ou le fer doux d'un appareil téléphonique peut reproduire les sons sans plaque vibrante et a donc un effet très sensible dans le téléphone complet;

3° Dans un circuit de trois éléments Leclanché, petit modèle, je prends comme appareil récepteur une bobine sans plaque vibrante, sans aimant, sans fer doux : avec cette seule bobine, dont je place une extrémité fortement appuyée contre l'oreille, j'entends les interruptions du courant et le son du piano transmis par un ou deux microphones. La bobine seule peut donc constituer un appareil téléphonique, faible il est vrai.

De ce qu'un aimant soumis à des aimantations variables fait entendre un son, de ce que le fil d'une bobine soumis à des courants variables fait entendre un son, on doit conclure que les molécules de l'aimant et du fil se sont déplacées et que la propagation du fluide électrique et magnétique dans les corps est accompagnée de mouvements de molécules de ces corps.

Chaque corps prend une disposition de molécules propre à son état électrique ou magnétique; cet état pouvant varier instantanément, les molécules ont des déplacements très rapides pouvant constituer le son.

Si l'on entend vibrer le fil d'une bobine, c'est qu'on a contre l'oreille un grand nombre de fils reproduisant le même mouvement. Un fil seul ne peut être entendu, mais vibre néanmoins comme ceux qui couvrent la bobine.

Dans les transmissions téléphoniques, non seulement les appareils et toutes leurs parties vibrent, mais encore les fils conducteurs qui les relient.

L'analogie qui existe entre les vibrations des corps soumis à des actions électriques et magnétiques variables et les vibrations qui se produisent dans les corps dans la transmis-

sion des sons doit être considérable, parce que les premières produisent dans certains cas, sur l'oreille, les mêmes sensations que les dernières.

A. La Marle.

Un nouveau régulateur de lumière électrique.

Le *Cosmos-les-Mondes* publie la note suivante, intéressante notice, que nous reproduisons, sur un appareil de M. le docteur Donato Tommasi, destiné à rendre fixe le point lumineux de la bougie Jablochkoff :

« Sans entrer aujourd'hui dans la description complète de cet intéressant appareil, description que nous donnerons nous-même un peu plus tard, avec les détails indispensables, il nous suffit de dire que le principe sur lequel repose la construction de cet appareil a été expérimenté le samedi 2 juin, et que les premières expériences ont justifié les prévisions de l'auteur.

« Voici en quelques mots et le principe et le résultat de l'expérience :

« On connaît la curieuse propriété que possède le sélénium d'être meilleur conducteur de l'électricité quand il est influencé par la lumière placée dans l'obscurité. On sait, d'un autre côté, que la *bougie Jablochkoff*, qui est pratiquement le meilleur des foyers électriques qu'on ait encore inventés, a l'inconvénient, en s'usant exactement comme une bougie, de laisser baisser progressivement son point lumineux, au fur et à mesure de la combustion, ce qui devient très gênant dans une multitude de circonstances.

« Appuyé sur ces deux données expérimentales, M. D. Tommasi a imaginé un *régulateur à sélénium*, convenablement établi, qui reçoit dans des conditions déterminées la lumière émanée de la bougie Jablochkoff, et sert pour ainsi dire de *remontoir automatique* au point lumineux dont la fixité est réglée par sa propre lumière.

« La première expérience, exécutée le 2 juin, avait pour

but de bien constater la sensibilité du sélénium de la lumière électrique, ainsi que l'instantanéité de ses variations de conductibilité. Un régulateur à sélénium, construit par MM. Th et Alb. Dubosq, a été placé dans une chambre noire installée dans les ateliers de la Société de l'éclairage électrique, 250, rue Lecourbe. Soumis alternativement à l'action de la lumière d'une bougie Jablochkoff et de l'obscurité, le sélénium, traversé par le courant d'une forte pile, a montré des différences de conductibilité bien accusées qui donnent la certitude de la valeur du principe sur lequel l'appareil est fondé.

« Nous avons assisté nous-même à ces expériences préliminaires, et nous n'avons aucun doute sur le succès définitif de l'appareil.

« Il reste maintenant à exécuter les dispositifs pratiques qui devront donner les meilleurs résultats et qui pourront faire entrer cet appareil dans l'usage industriel.

« Inutile de dire que M. D. Tommasi a pris les brevets nécessaires pour s'assurer la propriété de cette invention.

« M. Tommasi s'occupe également de rechercher les meilleures conditions à donner pour obtenir le maximum de sensibilité dans le sélénium, ainsi que les autres intéressantes applications que l'on peut faire de ce corps à la photométrie, à la télégraphie. »

Le réseau télégraphique sous-marin du globe.

Le *Journal télégraphique* de Berne nous fournit, dans son dernier numéro du 1er juin, une nomenclature très complète des câbles sous-marins actuellement en exploitation dans les différentes mers du globe, se rattachant à l'administration gouvernementale ou privée qui les exploite.

Ce travail a été dressé d'après les documents officiels et se divise en deux parties.

Dans la première, consacrée aux câbles exploités par les gouvernements eux-mêmes, nous relevons pour les différents

gouvernements le nombre suivant de câbles exploités et leur longueur totale en milles nautiques :

Nom des gouvernements.	Nombre de câbles.	Longueur en milles nautiques.
Allemagne	32	486,19
Autriche	29	97,49
Danemark	32	111,68
Espagne	3	129,10
France	41	2.329,273
Grande-Bretagne et Irlande	92	576,194
Grèce	13	104,60
Italie	15	250,29
Norvège	224	245,76
Pays-Bas	14	40,70
Russie d'Europe et du Caucase	5	201,80
Suède	7	58,60
Turquie	12	330,66
Indes britanniques, Indo-European Telegraph Department	5	1.707,—
Indes britanniques, Administration indienne	2	30,35
Japon	11	55,498
Russie d'Asie	1	70,017
Australie du Sud	2	43,50
Nouvelle-Calédonie	1	1,—
Indes Néerlandaises	1	54.91
Nouvelle-Zélande	3	196,315
Amérique britannique	1	200,—

Soit un total de 546 câbles ensemble d'une longueur de 7.276 milles nautiques 927.

La deuxième partie donne les chiffres suivants pour les diverses sociétés de câbles :

Noms des Compagnies.	Nombre de câbles.	Longueur en milles nautiques.
Submarine Telegraph Company	10	803,69
Vereinighte deutsche Telegraphen-Gesellschaft	2	1.119
Hamburg-Helgolander Telegraphen-Gesellschaft	1	32
Direct Spanish Telegraph Company	2	699,13
Mediterranean Extension Telegraph Company	3	198
Black-Sea Telegraph Company	1	350
Indo-European Telegraph Company	1	8
Great Northern Telegraph Company	17	5.916
Eastern Telegraph Company	49	16.814,85

Noms des Compagnies.	Nombre de câbles.	Longueur en milles nautiques.
Eastern and South African Telegraph Company.	4	3.858
Eastern Extension Australasia and China Telegraph Company.	15	11.265
Anglo-American Telegraph Company.	15	10.437,56
Direct United States Cable Company.	2	2.983
Compagnie française du télégraphe de Paris à New-York.	4	3.409,34
Western Union Telegraph Company.	4	5.537
Brazilian Submarine Telegraph Company.	4	4.296
Cuba Submarine Telegraph Company.	3	940
West India and Panama Télegraph Company.	20	4.119
Western and Brazilian Telegraph Company.	9	3.801
River Plate Telegraph Company.	1	32
Mexican Telegraph Company.	2	709
Central and South American Telegraph Company.	9	3.178,11
West Coast of America Telegraph Company.	7	1.698,72

Soit ensemble 185 câbles d'une longueur totale de 82.214 milles nautiques 40.

Le fonds des mers du globe est donc sillonné par plus de 89.000 milles nautiques de câbles télégraphiques.

L'année 1882 a vu la pose de 65 câbles, d'une longueur totale de près de 8.667 milles nautiques dans lesquels la France figure pour 404 milles.

Enfin, l'année 1883, qui n'est qu'à son début, est déjà portée pour 6 câbles d'une longueur de 2.100 milles; c'est d'un heureux présage pour le développement des communications télégraphiques et bientôt, espérons-le, des communications téléphoniques.

L'éclairage électrique d'Abbeville.

Au moment où la capitale semble vouloir abandonner l'éclairage électrique pour ses rues, les villes de province se livrent à de très intéressantes expériences. La *Lumière électrique* nous donne aujourd'hui la description suivante de l'éclairage qui vient d'être inauguré à Abbeville :

Puisque la ville de tous les luxes ne nous donne plus l'occa-

sion d'enregistrer de nouvelles manifestations dans cette voie du progrès, nous sommes heureux, sans sortir de chez nous, de pouvoir mettre sous les yeux des lecteurs le résultat d'expériences récentes qui viennent de se produire dans Abbeville, chef-lieu d'arrondissement de la Somme, dont la population ne dépasse guère 20.000 habitants.

Le système Gravier a été employé; on a vu ce système, des plus élémentaires, fonctionner à l'exposition internationale d'électricité, en 1881. M. Gravier réduit autant que possible la résistance du générateur; pour cela, il associe ses machines en quantité, de manière à leur donner la moindre résistance, puis il les fait exciter par une machine extérieure; à Abbeville, on a deux machines Gramme, type A, et une excitatrice sur le circuit de laquelle se trouve placé un interrupteur; les deux machines sont groupées en quantité sur un distributeur à six directions, et on peut envoyer à volonté à ce dernier le courant de l'une ou de l'autre machine. La façon dont les circuits sont formés permet d'assurer le fonctionnement des six foyers établis sur la place et dans les rues avoisinantes. La force motrice est produite par une machine à vapeur prêtée par M. Delepierre, directeur du Comptoir Linier, et comme sa puissance est considérable, on obtient facilement une marche très régulière pour actionner les dynamos qui font 1.200 tours à la minute, tandis que l'excitatrice n'en fait que 960.

Le distributeur à six directions est placé dans un magasin sur l'un des côtés de la place; la longueur du câble d'émission qui va des machines au distributeur est de 750 mètres, ce qui fait, avec le fil de retour, un circuit de 1.500 mètres; chaque circuit des lampes est en moyenne de 400 mètres avec un câble d'émission ayant $\frac{57}{10}$ de millimètre et un fil de retour de $\frac{15}{10}$ de millimètre, comme dans l'installation du palais de l'Industrie; en réduisant la résistance des machines, on s'interdit toute grande portée, et il est nécessaire d'employer des conducteurs de fort diamètre en établissant, autant que possible, des circuits à peu près égaux.

Voici quelques mesures pratiques prises avec le galvano-

mètre Deprez, placé en dérivation; nous devons encore ces renseignements à l'obligeance de M. Moynier de Villepoix :

Les résistances ont été calculées d'après les sections des fils et sont de 3ohms,60 environ par circuit de lampe, sans compter la résistance des charbons qui peut être estimée à $\frac{1}{2}$ ohm.

Résistance du câble d'émission, environ.	1 ohm.
Chute aux balais des machines excitées.	110 volts.
Chute aux bornes du distributeur.	62 —
Chute au fil de retour.	60 —
Chute moyenne aux bornes des lampes.	33 —
Intensité moyenne des lampes.	9 ampères.
Une lampe d'une intensité de 9 ampères sous une chute de 33 volts donne en kilogrammètres. . .	2kgm,7

Les galvanomètres Deprez, employés pour ces mesures, étaient à fil fin pour indiquer la chute, et à gros fil pour l'intensité.

Tous les foyers étaient à feu nu pendant les premières soirées d'expériences, mais, dans les derniers jours, on a employé des globes dépolis qui adoucissaient la crudité des rayons électriques et ne fatiguaient pas la vue.

Disons, en terminant, que ces essais d'éclairage exécutés à Abbeville présentent un intérêt tout particulier, au point de vue de l'utilisation des forces naturelles, car la Somme pourrait fournir à Abbeville une force naturelle d'au moins 300 chevaux, absolument inutilisée, et qu'il serait bien facile d'employer aujourd'hui, pour l'éclairage complet de la ville.

(*L'Électricité.*)

Les tramways électriques à Paris.

Le jeudi 5 juillet a été renouvelée une intéressante expérience de traction électrique des omnibus de la Compagnie Parisienne. La *French electrical Power storage*, concessionnaire des brevets pour les accumulateurs Faure, avait convié un public choisi à assister à ce nouvel essai. Malgré l'heure

matinale (trois heures du matin, pour la facilité de la circulation), une assistance nombreuse a suivi les expériences. Un des grands tramways à quarante-huit places de la Compagnie des Omnibus était mu par une machine de Siemens actionnée par des accumulateurs. La voiture est partie de la place des Nations, a suivi les boulevards et est allée jusqu'à la place de l'Étoile. On a, pendant le trajet, opéré toutes les manœuvres possibles : marche en avant, en arrière, arrêts soudains, sortie des rails, marche sur le pavé ou le macadam. Tout a parfaitement réussi. Bien que la voiture fût au grand complet (son poids total tout compris était au moins de dix tonnes, dont deux d'accumulateurs), bien que les rails fussent dans un mauvais état, les ornières pleines de poussières, sans parler des rampes de deux à cinq centimètres, la moyenne de la marche a été de 10 à 15 kilomètres à l'heure. La force utilisée était de dix chevaux électriques.

Toutes les conditions du problème technique paraissent remplies, une seule chose reste à bien préciser : c'est le prix de revient. D'après le rapport que nous envoie le directeur de la Société, le prix de revient, frais d'établissement et entretien, serait inférieur à celui de la traction par chevaux. Toutefois, il nous semble que des expériences plus nombreuses sont nécessaires pour établir un prix de revient définitif et incontestable.

(*Les Mondes.*)

BIBLIOGRAPHIE.

Tratado de Telegrafia, par don Antonio Suarez Saavedra.

M. Antonio Saavedra vient de faire paraître le second volume de son *Traité de Télégraphie*, dans lequel il s'occupe spécialement des appareils de mesure électrique, des piles et des lois de la propagation et de la distribution de l'électricité.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 **Juillet-Août**

THÉORIE DU MAGNÉTISME

PAR M. LE PROF. D. E. HUGHES, F. R. S.

(Suite et fin.)

Neutralité.

L'emploi de l'appareil propre à rechercher les manifestations de la polarité extérieure n'exige pas grand talent ou dextérité; c'est simplemnnt un appareil pour mesurer exactement la force des répulsions ou attractions manifestées. Toutefois, dans le cas de neutralité, la polarité extérieure disparaît, et il en résulte, par conséquent, la nécessité d'un appareil spécial, avec bien plus de soin et d'attention dans son emploi.

Les nombreuses recherches que j'ai faites antérieurement au moyen de la balance d'induction et dont j'ai déjà publié les résultats, m'ont donné la conviction qu'en recherchant la cause du magnétisme et de la neutralité, je trouverais dans cette balance l'auxiliaire de l'instru-

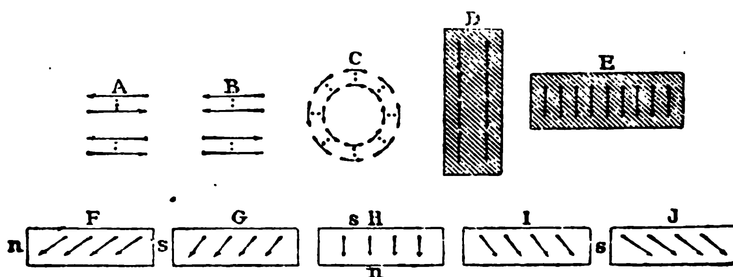
from here ought to be paginated 286 ....

ment de recherche le plus puissant qu'on ait jamais eu pour étudier la construction moléculaire du fer comme aussi de tous les métaux. Elle néglige toutes les forces qui ne produisent pas de changement dans la structure moléculaire et nous met à même de pénétrer d'emblée à l'intérieur d'un aimant ou d'une pièce de fer, en observant seulement sa structure particulière et le changement qui se produit durant l'aimantation ou la neutralité apparente.

La balance d'induction est affectée par trois distributions distinctes de structure moléculaire dans le fer et l'acier, accusant une neutralité extérieure.

La *fig.* 1 montre quelques directions polaires de molé-

Fig 1.



cules représentées par des flèches. Poisson admettait comme nécessité de sa théorie, qu'une molécule est sphérique; mais en prouvant expérimentalement que, sous l'aimantation, le fer s'allonge de 1/720000 de sa longueur, le Dr Joule a démontré pour le moins que cette forme n'était pas sphérique. Comme je ne suis pas en état, pour le moment, de donner la preuve de mes propres opinions sur ce qu'est exactement cette forme, je me suis borné à indiquer la direction polaire par des

flèches, les lignes ovales ponctuées marquant simplement les limites de la libre rotation élastique.

Dans la *fig.* 1, en A, nous avons la neutralité par attraction mutuelle par chaque paire de molécules, ce qui est pour elles le chemin le plus court pour satisfaire à leurs attractions mutuelles. En B, nous avons le cas de magnétisme superposé de valeur extérieure égale, qui rend le fil ou le barreau en apparence neutre, bien que la série inférieure des molécules soit tournée dans une direction opposée à celle de la série supérieure, donnant au barreau des polarités opposées et égales. En C, nous avons les molécules distribuées en chaîne circulaire autour de l'axe d'un fil ou barreau que parcourt un courant électrique. En D, c'est la manifestation de la polarité induite par l'influence directrice de la terre quand un barreau de fer doux est maintenu dans le méridien magnétique. En E, c'est la neutralité longitudinale produite dans le même barreau, orienté à l'ouest, la polarité étant alors transversale.

Tous ces cas nous présentent un arrangement parfaitement symétrique, et je n'ai pas encore, avec du fer doux bien embobiné, rencontré une seule circonstance où j'aie pu reconnaître la distribution hétérogène, supposée par Ampère, de la Rive, Weber, Wiedermann et Maxwell.

Nous ne pouvons étudier la neutralité que sur le fer suédois parfaitement doux. Le fer dur et l'acier conservent toujours quelque chose de leur aimantation antérieure et, dans la plupart des cas, la neutralité extérieure apparente ne serait que la superposition d'un magnétisme sur un autre d'égale force extérieure et de direction opposée, comme on le voit en B (*fig.* 1). Quant au fer parfaitement doux, on peut aisément, par des vibrations, le débarrasser des plus petites traces d'aiman-

tation antérieure et étudier la neutralité produite dans des conditions variées.

Si l'on prend un barreau plat de fer doux, d'une longueur de 30 centimètres ou plus, et si on le maintient verticalement, en lui imprimant dans cette position un petit nombre de torsions, de vibrations ou, mieux encore, en lui donnant quelques légers coups avec un maillet de bois, pour permettre à ses molécules de tourner en parfaite liberté, on constate une forte polarité nord à son extrémité inférieure et sud à son extrémité supérieure. En renversant le barreau et recommençant les vibrations, on constate que son extrémité inférieure a précisément une polarité nord semblable. Ainsi, le fer est homogène et sa polarité symétrique. Si maintenant on aimante ce barreau de façon à produire un fort pôle nord à sa partie inférieure, on peut graduellement inverser cette polarité, par l'influence du magnétisme terrestre, en frappant légèrement l'extrémité supérieure avec un petit maillet de bois. Si, au moyen de la direction d'une aiguille, on observe le barreau dans toutes ses parties et successivement durant son passage graduel d'une polarité à l'autre, l'on ne constatera aucune rupture subite de la distribution au hasard des molécules, mais bien une rotation graduelle et parfaitement symétrique d'une direction à celle de la polarité opposée.

Si le barreau est orienté de l'est à l'ouest, ayant d'abord, par exemple, une polarité nord à droite, on peut petit à petit décharger ou amener au zéro les molécules et ainsi inverser graduellement la polarité par une simple inclinaison du barreau, de façon qu'il soit légèrement influencé par le magnétisme terrestre. A aucun moment de ce passage d'une polarité à la neutralité et à la polarité de nom opposé, il ne se produit une ruptnre dans la

continuité de la rotation ou dans la distribution au hasard. Si l'on tourne doucement le barreau horizontalement ou verticalement, en faisant des observations à chaque petit nombre de degrés d'une révolution entière, on constate encore le même changement graduel symétrique de polarité, et cette symétrie est aussi complète dans l'état de neutralité que dans celui de polarité apparente.

Dans tous les cas, il n'y a pas neutralité complète, la polarité longitudinale devient simplement transversale quand le barreau est placé dans la direction de l'est à l'ouest. Dans la *fig.* 1, F, G, H, I, J montrent ce changement, H étant neutre longitudinalement, mais polarisé transversalement. Si, au lieu d'un barreau, on prend une petite plaque carrée de fer doux, en lui donnant une liberté moléculaire sous la seule influence du magnétisme de la terre, on constate alors invariablement que la polarité est dans la direction de l'inclinaison magnétique, quelle que soit la position donnée à la plaque. Une sphère de fer doux ne pourrait être polarisée que dans une direction semblable. Ainsi nous ne pouvons jamais obtenir une neutralité extérieure complète, tant que les molécules ont leur liberté de mouvement et ne forment pas un cercle intérieur fermé de mutuelle attraction et, quelle que soit la théorie que nous puissions adopter pour expliquer la polarité dans la molécule : celle de Coulomb, de Poisson, d'Ampère ou de Weber, il ne peut exister dans le fer doux de distribution au hasard, aussi longtemps qu'il est affranchi de toute autre cause extérieure que celle de la terre. Ces théories sont donc fausses dans une de leurs parties les plus essentielles.

Nous pouvons, toutefois, produire un cercle fermé de mutuelle attraction dans le fer et l'acier, donnant une

neutralité complète aussi longtemps que la structure n'est pas détruite par quelque influence directrice.

Œrsted a découvert qu'une aiguille aimantée se place d'elle-même perpendiculairement à un courant électrique; et du moment que les molécules d'un fil de fer possèdent une polarité inhérente et peuvent tourner, l'on devait s'attendre à ce qu'il se produisît à l'intérieur du fil un effet semblable à celui que Œrsted a observé. C'est Wiedermann qui le premier a constaté cet effet, bien connu sous le nom de magnétisme circulaire. Ce cercle, toutefois, consiste réellement en ce que chaque molécule s'est placée elle-même perpendiculairement au courant, simplement en obéissant à la loi d'Œrsted et en formant ainsi un cercle complet où les attractions mutuelles des molécules qui constituent le cercle reçoivent satisfaction, comme on le voit en C (*fig.* 1). Ce fil devient complètement neutre, la distribution symétrique antérieure de polarité, quelle qu'elle soit, évoluant pour former ce cercle complet d'attraction, et l'on peut ainsi produire dans le fer dur et l'acier une neutralité excessivement difficile à rompre et à détruire. Nous avons une preuve éclatante que cette neutralité consiste en une chaîne fermée ou cercle, puisque par la torsion nous pouvons la dévier partiellement d'un côté quelconque. Il en est de même d'un fil parfaitement neutre extérieurement, produisant une polarité ou l'autre par simple déplacement angulaire mécanique de ses molécules, ainsi que par torsion à gauche ou à droite.

Si nous aimantons un fil orienté de l'est à l'ouest, il conservera cette polarité jusqu'à ce que nous l'en ayons libéré par vibrations, comme on l'a déjà remarqué. Si nous faisons passer un courant électrique à travers le fil aimanté nous pouvons constater la rotation graduelle des

molécules et la formation de la neutralité circulaire. En commençant avec un courant faible, dont on accroît graduellement la force, on peut faire tourner ces molécules aussi doucement qu'on peut le désirer. Il ne se produit ni rupture soudaine de neutralité ni distribution au hasard; les mouvements pour arriver à zéro s'accomplissent avec une parfaite symétrie.

On peut produire un cercle plus parfait et plus court d'attraction par la superposition de magnétisme, comme en B (*fig.* 1). Si l'on aimante, dans une direction donnée, une pièce d'acier ou de fer avec une forte puissance magnétique dirigeante, l'aimantation pénètre à une certaine profondeur. Si l'on diminue légèrement la puissance magnétisante et si l'on aimante la pièce métallique dans une direction contraire, on peut la réduire à zéro, par la superposition d'une aimantation extérieure sur une aimantation de nom contraire existant à une plus grande profondeur; et si l'on continue l'opération, en diminuant graduellement la force à chaque renversement, l'on arrive facilement à superposer une dizaine ou plus de distributions symétriques distinctes et, comme leurs attractions mutuelles reçoivent satisfaction dans un cercle plus court que dans celui que produit l'électricité, il est extrêmement difficile de détruire cette formation, une fois produite.

La balance d'induction fournit aussi quelques raisons de croire que les molécules non seulement forment un cercle fermé d'attractions, comme en B, mais qu'elles peuvent mutuellement réagir l'une sur l'autre, de façon à fermer un cercle d'attractions comme une double molécule, ainsi qu'on le voit en A. La preuve expérimentale, cependant, ne suffit pas pour insister sur ce point, la

neutralité obtenue par superposition étant quelque peu semblable dans ses effets extérieurs.

On peut produire un cercle parfaitement symétrique d'attractions de la nature de la neutralité de C, *fig.* 1, en ployant un fil d'acier en cercle fermé de dix centimètres de diamètre, si ce fil est bien joint à ses extrémités, par torsion ou soudure. On peut alors aimanter cet anneau en le tournant légèrement autour de l'extrémité d'un pôle d'un fort aimant permanent; et pour éviter des pôles conséquents à la partie qui affleure l'aimant, l'on devra avoir un coin de bois permettant d'écarter graduellement l'anneau de l'aimant au fur et à mesure qu'il évolue. Ce fil ne contiendra alors ni pôles conséquents ni magnétisme extérieur, et il accusera une parfaite neutralité dans toutes les parties de ce cercle fermé. Sa neutralité est semblable à C, *fig.* 1, car si l'on coupe ce fil à un point quelconque on trouve une polarité magnétique extrêmement forte, ce procédé l'ayant aimanté à saturation et ayant retenu (ce qu'il fera indéfiniment) son cercle de complète attraction.

J'ai déjà fait voir que le fer doux, quand des vibrations ont mis ses molécules en parfaite liberté, prend invariablement la polarité de l'influence directrice extérieure, telle que celle de la terre, et cela même avec une plus grande liberté sous l'influence de la chaleur. Les fabricants d'électro-aimants pour appareils télégraphiques ont bien soin de choisir le fer le plus doux et de l'embobiner parfaitement; mais bien peu se rendent compte de l'importance que présente la position du fer lorsqu'on l'embobine sous l'influence directrice de la terre. C'est là un fait, cependant, qui a été observé depuis longtemps.

Le Dr Hooke, en 1864, a remarqué que l'acier ou le

fer s'aimantait quand on le chauffait au rouge et qu'on le plaçait dans le méridien magnétique. J'ai légèrement varié cette expérience en chauffant au rouge trois barres d'acier semblables dont deux avaient été préalablement aimantées à saturation et disposées séparément avec leurs polarités contraires en regard et dont la troisième était neutre. Au refroidissement, ces trois barres accusaient une polarité identique et semblable. Ainsi les molécules de ce métal très rigide, l'acier fondu, étaient devenues libres à la chaleur rouge et avaient tourné sous l'influence magnétique de la terre, produisant exactement la même force sur chaque barre. Par conséquent, l'aimantation préalable de deux de ces barres n'avait ni augmenté, ni affaibli la polarité inhérente de leurs molécules. Le fer doux, dans ces conditions, a accusé la force de beaucoup la plus considérable, sa polarité inhérente étant plus grande que celle de l'acier.

J'ai fait bien d'autres expériences sur ce sujet de la neutralité; mais toutes confirment celles que j'ai déjà rapportées et que je considère comme prouvant amplement la distribution symétrique de neutralité.

Aimantation superposée.

Sachant que par torsion on peut faire tourner ou diminuer le magnétisme, j'avais grand désir d'obtenir par ce moyen une rotation complète de la polarité nord à la neutralité et de la neutralité à la polarité sud, ou, en d'autres termes, de renverser complètement la polarité magnétique par une faible torsion à droite ou à gauche.

J'ai réussi à le faire et à obtenir un renversement prononcé de polarité, en superposant une polarité donnée,

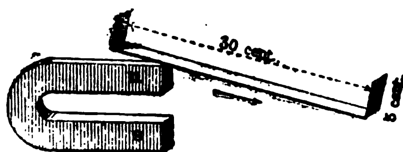
tandis que le barreau est soumis à une torsion élastique à droite, sur une autre polarité opposée donnée sous une torsion élastique à gauche, le point neutre étant alors atteint lorsque le barreau est libre de torsion. Ce dernier doit être très fortement aimanté par la première torsion à droite, de sorte que ses molécules intérieures soient retournées, ou, en d'autres termes, il doit être aimanté à saturation; la seconde aimantation et la torsion en sens contraire doivent être plus faibles, de façon à n'aimanter que la surface, ou, tout au plus, seulement la moitié de la profondeur; ces aimantations peuvent aisément être réglées l'une sur l'autre de façon à former une parfaite balance polaire de force, produisant, quand le barreau est libre de torsion, la neutralité telle qu'on la voit en B, *fig.* 1.

L'appareil employé est simplement un bon aimant permanent composé, en fer à cheval, de 15 centimètres de longueur, formé de six plaques ou plus donnant une épaisseur totale d'au moins 3 centimètres. Il faut un aimant suffisamment puissant, car j'ai constaté que j'obtiens une distribution plus égale de magnétisme sur un barreau ou une bande de fer en les passant longitudinalement sur un des deux pôles dans une même direction à partir de ce pôle, comme la chose est représentée *fig.* 2. L'on obtient aussi la saturation en répétant ces frottements qui conservent dans chaque opération la même symétrie moléculaire.

Pour produire une faible torsion élastique en aimantant des barreaux ou des fils, il convient de fixer deux crampons aux extrémités des barreaux ou simplement de replier celles-ci à angles droits comme on le voit, *fig.* 2. Ce procédé permet d'effectuer un tortillement ou torsion, tout en passant le barreau sur le pôle de l'aimant per-

nanent. L'on peut ainsi superposer plusieurs dispositions symétriques opposées, en produisant à volonté un

Fig. 2.



pôle nord ou sud, bien plus que ne peut le faire une simple ou même une double aimantation; et, en réglant avec soin la proportion des magnétismes opposés de façon que les deux polarités aient la même force extérieure, le barreau aura, libre de torsion, une parfaite neutralité extérieure.

Si maintenant l'on maintient une extrémité de ce barreau à quelques centimètres de distance d'une aiguille directrice aimantée, on constate sa parfaite neutralité quand il est libre de torsion, mais la plus faible torsion à droite ou à gauche produit de suite une violente répulsion ou attraction, suivant la direction de la torsion donnée au barreau. Les barreaux ou les bandes de cercle de fer que j'emploie pour cette expérience, peuvent, à une distance de 5 centimètres de l'aiguille, la faire instantanément dévier de 90° d'un côté ou de l'autre du zéro.

La neutralité extérieure que l'on peut produire à volonté est absolue, puisqu'elle croise la ligne de deux polarités contraires, situation semblable au zéro de mon sonomètre électrique qui s'obtient par le croisement de deux forces électriques opposées.

Ce barreau de fer conserve à un degré remarquable sa propriété de renversement, condition toute différente

de celle d'une aimantation ordinaire, car le même barreau, aimanté à saturation par une simple aimantation ordinaire, perd son aimantation apparente par un petit nombre de torsions élastiques, comme je l'ai déjà fait voir; mais aimanté par double torsion avec magnétismes superposés, il n'est que légèrement désaimanté par de nombreuses vibrations ou torsions et j'ai constaté l'impossibilité de l'affranchir de nouveau de ses doubles effets polaires, sauf en le réaimantant fortement à saturation avec une seule polarité. Le magnétisme superposé devient alors une simple force directrice et avec quelques vibrations ou torsions on peut ramener le barreau à son état ordinaire.

Ces effets de magnétisme superposé et de double polarité, je les ai produits de bien des manières, par exemple, par l'influence électro-magnétique des bobines, ou, dans un fer très doux, simplement par l'influence directrice du magnétisme de la terre, renversant les barreaux et les torsions quand celui-là était maintenu dans le méridien magnétique. Quant aux barreaux, s'ils étaient placés dans la direction de l'ouest magnétique, ils accusaient distinctement les doubles effets polaires.

Il est également remarquable que l'on puisse superposer et obtenir les effets maxima sur de minces bandes de fer de 1/4 à 1/2 millimètre d'épaisseur, tandis que sur des barreaux épais l'on obtient un effet beaucoup moindre, cet effet étant dissimulé par l'état comparativement neutre de l'intérieur, car les molécules extérieures réagissent sur celles de l'intérieur et leur permettent de compléter à l'intérieur leur cercle d'attractions.

Je désirais vivement avoir des fils qui conserveraient cette structure malgré l'influence destructive de la torsion ou des vibrations, de façon à pouvoir employer con-

amment les mêmes fils sans des procédés de préparaon relativement longs et pénibles. Le fer doux perd entôt sa structure ou s'affaiblit sous l'influence conante des torsions ou détorsions, qui sont nécessaires où l'on désire un changement constant de polarité, omme on l'expliquera plus loin pour les cloches magnéques. L'acier dur conserve sa structure, mais sa rigidité oléculaire est si grande que, par la torsion, l'on n'obent que de simples traces d'un changement quelconque e polarité. J'ai trouvé, cependant, que le fin acier fondu oré, non trempé, du genre de celui qu'emploient les orlogers, est le plus convenable; on le vend généraleuent en longueurs rigides de 30 centimètres. Il faudrait mployer des fils de 1 millimètre de diamètre et si on lésire augmenter la force, réunir quelques-uns de ces ils, neuf ou dix par exemple en une seule tige ou poignée.

Le fil, tel qu'on le vend, est trop rigide pour donner son maximum d'effet de rotation. Il faut donc le soumettre à deux tours ou torsions à droite et l'aimanter fortement sur le pôle nord de l'aimant pendant qu'il est tordu. L'on doit encore répéter cette opération en sens contraire, après avoir ramené le fil à sa position primitive, le fil sera extrêmement flexible et l'on pourra alors superposer quelques polarités différentes sous des torsions contraires, ainsi qu'on l'a déjà expliqué.

Le pouvoir de ces fils, convenablement préparés, est très remarquable. Ils peuvent renverser leur polarité sous la torsion, comme s'ils étaient complètement saturés et ils conservent ce pouvoir indéfiniment, s'ils ne sont pas touchés par un aimant. Il serait extrêmement difficile d'expliquer l'action des effets de rotation qu'accusent ces fils avec toute autre théorie que celle que j'ai

avancée; et la neutralité extérieure absolue qu'ils accusent quand leurs polarités changent, nous savons par leur structure qu'elle est parfaitement symétrique.

Désirant, à l'appui de cette communication, montrer quelque mouvement mécanique produit par rotation moléculaire, j'ai disposé deux cloches que frappe alternativement une armature polarisée, mise en mouvement pour le double barreau polarisé que j'ai déjà décrit, mais dont la position reste invariablement la même, à trois centimètres de distance de l'axe de l'armature. L'armature magnétique consiste en un léger barreau d'acier suspendu horizontalement par son axe central; les cloches sont en verre mince à bouteilles, donnant un son musical clair, assez intense, sous la force qui frappe les cloches, pour être distinctement entendu à quelque distance. L'armature ne frappe pas ces cloches alternativement par un mouvement de pendule, car nous pouvons aisément nous borner à n'en frapper qu'une continuellement, le frottement et l'inertie de l'armature lui imposant un mouvement d'oscillation parfaite, quand aucune force extérieure ne la sollicite, et qu'elle est ramenée au zéro par un fort aimant directeur placé au-dessous de son axe.

La puissance mécanique que l'on obtient est tout à fait évidente et elle suffit pour imprimer à l'armature indolente un mouvement rapide allant jusqu'à frapper les cloches six fois par seconde et avec une force suffisante pour produire des sons capables d'être entendus clairement dans toutes les parties de la salle. Je suis heureux de montrer dans cette occasion cette expérience qui constitue la première transformation directe du mouvement moléculaire en mouvement mécanique.

Il n'y a rien de remarquable dans les cloches elles-

mêmes, puisqu'évidemment elles pouvaient résonner si l'armature était entourée d'une bobine et actionnée par un courant électrique de quelques éléments de pile. Le merveilleux, toutefois, réside dans ce petit fil d'acier à aimantation superposée, produisant par les faibles torsions élastiques d'un simple fil de 1 millimètre de diamètre, une force de rotation purement moléculaire suffisante pour remplacer entièrement la bobine et le courant électrique.

Nature élastique de l'éther qui entoure les molécules magnétiques.

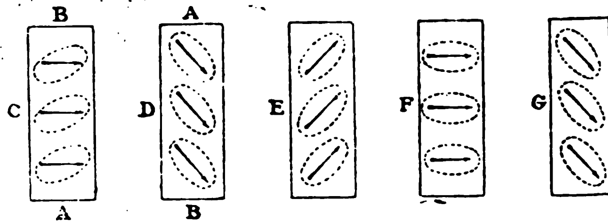
Dans le cours de ces recherches j'ai remarqué une propriété particulière du magnétisme, à savoir, que les molécules peuvent non seulement tourner de tout degré d'arc jusqu'au maximum de déviation ou jusqu'à saturation, mais encore que tout en exigeant une force relativement considérable pour triompher de leur rigidité ou résistance à la rotation, elles ont chacune un petit champ qui leur est propre, dans lequel elles peuvent se mouvoir avec une excessive liberté, tremblant, vibrant ou tournant d'un petit angle sous une force infiniment plus petite que celle qui serait nécessaire pour leur imprimer une rotation permanente d'un côté ou de l'autre. Cette propriété est tellement accusée et générale qu'il n'est besoin pour l'observer d'aucun appareil ou fil spécial.

Prenons une bande plate de fer de cercle, longue de 30 centimètres ou plus. Si, tout en la maintenant verticalement, on rend libres ses molécules, par torsions, ou mieux encore, en frappant avec un maillet de bois quelques coups sur son extrémité supérieure, on constate,

c'est une chose bien connue, que sa partie inférieure est fortement nord et sa partie supérieure sud. Renversons cette bande, nous la trouvons alors neutre à ses deux extrémités. On peut supposer ici que c'est la force directrice de la terre qui a fait tourner les molécules jusqu'au zéro ou transversalement, ce qui a eu lieu, en réalité, mais seulement jusqu'à la limite de leur mouvement comparativement libre; car si nous replaçons la bande dans sa position originale, ses fortes polarités antérieures réapparaissent aux deux extrémités. Ainsi, le point central de ce libre mouvement est incliné sur la bande, celle-ci recevant du libre mouvement une grande inclinaison symétrique et une polarité dans une direction; mais, quand la bande est renversée, cette inclinaison est réduite à zéro.

Dans la *fig.* 3, D est un barreau de fer fortement

Fig. 3.



polarisé par l'influence magnétique de la terre, sous des vibrations ayant une force suffisante pour avoir fait tourner son centre élastique d'action. C montre le même barreau avec ses molécules à zéro ou transversales, la force directrice de la terre étant insuffisante, sans l'aide de vibrations mécaniques, pour lui permettre de changer. Les lignes ponctuées de D supposent que la molécule est au centre de son libre mouvement, tandis qu'en

C les molécules ont tourné à zéro, ne pouvant tourner au delà parce qu'elles sont à l'extrême limite de leur libre mouvement.

Si maintenant l'on maintient le barreau vertical, comme en C, position de neutralité, et si avec un maillet de bois on frappe de quelques coups son extrémité supérieure, l'on peut lui donner juste la quantité de liberté nécessaire pour qu'il accuse une polarité et l'on a alors une polarité égale, quelle que soit celle des deux extrémités du barreau qui soit en dessous, le centre de sa libre rotation étant ici parfait et le barreau complètement neutre longitudinalement quand on le maintient dans la direction de l'Est à l'Ouest. Si, d'un autre côté, on a, par des coups répétés du maillet, donné trop de liberté aux molécules, le centre de libre mouvement s'incline avec celles-ci et nous revenons à la première condition, sauf que maintenant c'est en D qu'est la neutralité et en C la polarité. On voit ainsi qu'on peut, par vibrations ou coups, régler ce centre d'action à n'importe quel point sous l'influence extérieure directrice.

Nous pouvons remarquer cet effet de libre rotation (dans un espace limité) chez toutes les espèces de fer et d'acier; mais il est beaucoup plus considérable dans le fer doux de Suède que dans le fer dur ou l'acier. Il se produit un phénomène semblable si l'on aimante un barreau maintenu verticalement dans la direction du magnétisme terrestre. Il accuse alors une plus grande polarité que s'il est aimanté dans la direction de l'est à l'ouest; et, si l'aimantation a eu lieu en sens contraire à celui du magnétisme terrestre, il est très faiblement aimanté, ou, si le barreau est parfaitement doux, il devient neutre après une forte aimantation. On peut démontrer de bien des manières cette propriété de liberté

comparative et la rotation du centre d'action. Le téléphone en donne un exemple remarquable. Tous ceux qui sont bien familiarisés avec l'électro-magnétisme et qui savent qu'il faut un temps appréciable pour charger un électro-aimant à saturation (environ 1/15 de seconde pour les électro-aimants employés en télégraphie), s'étonnaient que le téléphone pût reproduire la plus faible modulation de timbre, ce qui exige des changements presque innombrables de force par seconde. La libre rotation de nature limitée dont j'ai parlé explique, je crois, cette remarquable sensibilité et rapidité d'action, et, dans le même ordre d'idées, elle explique aussi pourquoi les téléphones à forte résonnance ne peuvent jamais reproduire toute la délicatesse de timbre, comme le font facilement ceux qui n'exigent qu'une force comprise dans les limites critiques de cette libre rotation. Cette propriété, je l'ai constaté, a une valeur critique distincte pour chaque espèce de fer et je me propose de publier bientôt quelques recherches sur la construction moléculaire de l'acier et du fer, où j'ai fait usage de cette réelle propriété comme indice de la qualité même du fer.

La rotation élastique (dans un espace limité) d'une molécule diffère entièrement de ce que l'on nomme l'élasticité mécanique. Le fer parfaitement doux n'a qu'une faible élasticité *mécanique*, tandis que dans l'acier trempé cette élasticité atteint son maximum. Le contraire a lieu pour l'élasticité *moléculaire*. Dans l'acier trempé les molécules sont extrêmement rigides, et c'est dans le fer doux que l'élasticité moléculaire atteint son maximum. Ce libre mouvement diffère entièrement de celui qu'engendre la torsion ou le tressage. Nous pouvons admettre que la molécule est entourée d'un éther continu de la nature plutôt d'une gelée que d'un gaz;

dans un pareil milieu, la molécule peut librement vibrer dans de petits arcs, mais une rotation qui s'étendrait au delà de sa limite critique impliquerait une dépense de force bien plus grande.

La découverte de cette rotation relativement libre des molécules, au moyen de laquelle, comme je l'ai montré, on peut (sans troubler en rien l'élasticité mécanique extérieure de la masse) changer les axes de leur libre mouvement dans toute direction voulue, m'a amené à une série de recherches qui n'ont qu'indirectement rapport avec la théorie du magnétisme. J'avais pourtant, un très grand désir de trouver une preuve expérimentale qui pût, par elle-même, démontrer l'exactitude de toutes les parties de la théorie et l'expérience suivante, répond, je crois, à ce désir.

Prenons un barreau carré de fer doux, de 5 millimètres de diamètre sur 30 centimètres ou plus de longueur, et, par les coups d'un maillet de bois, comme je l'ai expliqué plus haut, amenons les molécules à avoir leurs centres de libre mouvement dans une direction; le barreau, on l'a déjà vu, accusera une polarité à ses deux extrémités quand on le tient verticalement, mais si on le renverse, les deux extrémités deviendront complètement neutres.

Si maintenant nous remettons le barreau dans sa première position, celle où il accuse une forte polarité, et si dans cette position verticale nous l'aimantons en passant de son extrémité supérieure à son extrémité inférieure le pôle nord d'un aimant permanent suffisamment puissant, nous constatons que ce barreau, au lieu d'avoir une polarité sud à sa partie inférieure, comme on devait l'attendre de la direction de l'aimantation, est complètement neutre à ses deux extrémités; mais si on renverse

le barreau, sa puissance entièrement libre d'aimantation apparaît maintenant dans la position où il était neutre auparavant. Ainsi, par l'aimantation, nous avons complètement fait tourner son champ libre d'action et nous constatons que nous pouvons faire tourner ce champ dans toute direction désirée, par l'application d'une puissante directrice suffisante.

Si l'on prend un barreau comme ci-dessus dont les polarités sont manifestes quand il reste vertical et dont la neutralité est aussi manifeste quand ses extrémités sont renversées dans le même champ magnétique, on constate que cette polarité est égale aux deux extrémités et qu'il est de toutes façons symétrique avec un parfait aimant. Si l'on renverse *graduellement* les extrémités en observant leurs conditions par chaque degré d'arc qu'elles parcourent, on trouve une diminution symétrique égale de la polarité extérieure accusée, jusqu'à ce qu'on arrive à la neutralité où le barreau n'accuse aucune trace de polarité inhérente; mais cette polarité inhérente devient de suite manifeste par un simple retour à la position première. Ainsi le barreau a passé par tous les changements, de la polarité à la neutralité et de la neutralité à la polarité, et ces changements se sont produits avec une symétrie complète.

Les limites de cet article ne me permettent pas de parler des nombreuses preuves théoriques que fait ressortir l'usage de ma balance d'induction. Je crois, cependant, déjà avoir prouvé expérimentalement que ce que l'on a attribué à la force coercitive est dû en réalité à la liberté ou à la rigidité moléculaire; que la polarité moléculaire inhérente constitue un fait admis par Coulomb, Poisson, Ampère, de la Rive, Weber, du Moncel, Wiedermann et Maxwell, et que nous avons

aussi une preuve expérimentale de la rotation moléculaire et du caractère symétrique de la polarité et de la neutralité.

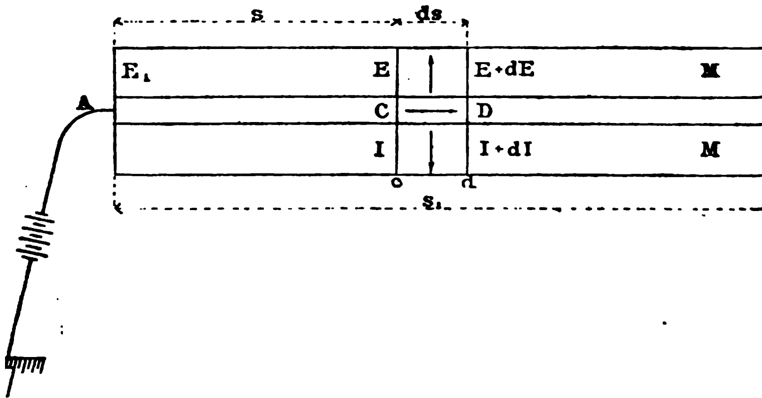
Les expériences que je viens d'exposer, jointes à celles qu'a fait connaître ma communication à la *Royal Society*, me justifieront, j'espère, d'avoir avancé une théorie du magnétisme dont chaque partie, je crois, peut invoquer, au moins, des *preuves expérimentales* en faveur de sa vérité probable.

FORMULES RELATIVES

A LA

CHARGE ÉLECTRIQUE D'UN CABLE TÉLÉGRAPHIQUE

Soit donné un câble AB dont l'extrémité A, en communication avec un des pôles de la batterie, a un potentiel E_1, et dont l'autre bout B est relié à la terre ou est isolé.



Considérons un point C de ce câble, éloigné de S unités de l'extrémité A, et supposons que le potentiel de l'électricité, en ce point, soit égal à E unités; alors le potentiel au point voisin D sera représenté, à un infiniment petit du second ordre près, par la grandeur $E + dE$; de même, supposons que l'intensité du courant dans le fil conducteur, à travers la section C, ait une valeur de I unités, la valeur du courant dans la section D sera

$I + dI$, et la perte du courant à travers la couche isolante *abcd* sera représentée par $-dI$.

Supposons que la résistance de l'unité de longueur du fil conducteur soit égale à n unités et que la résistance transversale de la couche isolante, pour une unité de longueur du câble, soit égale à k unités de résistance; alors la résistance longitudinale du fil pour l'élément de longueur s'exprimera par le produit ndS, et la résistance transversale de l'isolant pour la même longueur par le quotient $\frac{k}{dS}$.

Si le potentiel de l'armature extérieure du câble est zéro, nous obtiendrons, d'après M. Kirchhoff, les formules suivantes pour l'intensité des courants qui traversent la section C du fil conducteur et la couche isolante *abcd* :

$$I = -\frac{dE}{ndS}$$

$$-dI = \frac{E}{\left(\frac{k}{dS}\right)},$$

ce qui conduit aux équations :

$$\frac{dE}{dS} = -nI, \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dS} = -\frac{E}{k}. \tag{2}$$

Intégrant ces équations différentielles simultanées, on obtient les relations connues

$$E = \frac{C_1 e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}S} + C_2 e^{\sqrt{\frac{n}{k}}S}}{2}, \tag{3}$$

$$I = \frac{C_1 e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}S} - C_2 e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S}}{2\sqrt{nk}}. \tag{4}$$

La première donne la distribution des potentiels sur le fil conducteur du câble, et la seconde la valeur de l'intensité du courant en chaque point.

Il est facile d'obtenir des équations (3) et (4) plusieurs formules connues dans la télégraphie, mais nous laissons ce problème de côté en nous bornant à déduire la formule de résistance R du câble entre les sections C et B.

On a évidemment

$$R = \frac{E}{I},$$

ou, en utilisant les équations (3) et (4),

$$(5) \qquad R = \sqrt{nk}\,\frac{\dfrac{C_1}{C_2}e^{-2\sqrt{\frac{n}{k}}S} + 1}{\dfrac{C_1}{C_2}e^{-2\sqrt{\frac{n}{k}}S} - 1}.$$

Appelons R_t la valeur que prend R quand $S = 0$ et quand l'autre bout B communique à la terre; de même désignons par R_i la valeur de R quand $S = 0$ et quand le bout B est isolé; nous aurons pour R_i et R_t les formules connues

$$(6) \qquad R_t = \sqrt{nk}\,\frac{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} - 1}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} + 1},$$

$$(7) \qquad R_i = \sqrt{nk}\,\frac{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} + 1}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} - 1}.$$

Avant d'évaluer les valeurs des constantes C_1 et C_2, qui entrent dans les équations précédentes, convenons de désigner par R_t la résistance totale du câble, qu'on peut mesurer par l'expérience quand l'extrémité B communique avec la terre, par R_i la résistance quand

l'extrémité B est isolée, et enfin n'oublions pas la relation connue qui existe entre les grandeurs n, k, R_t et R_i, notamment

$$(8) \qquad nk = R_t R_i$$

1er CAS. — *Le câble communique avec la terre.* — Quand $S = 0$, la résistance totale du conducteur du câble est R_t, et alors les équations (3), (5) et (6) donnent les relations suivantes entre les constantes C_1, C_2 et les valeurs trouvées par l'expérience pour R_i et R_t

$$E_1 = \frac{C_1 + C_2}{2},$$

$$R_t = \sqrt{R_t R_i}\,\frac{\frac{C_1}{C_2} + 1}{\frac{C_1}{C_2} - 1},$$

en résolvant par rapport à C_1 et C_2, on obtient

$$C_1 = \left(1 + \sqrt{\frac{R_i}{R_t}}\right) E_1,$$

$$C_2 = \left(1 - \sqrt{\frac{R_i}{R_t}}\right) E_1.$$

On peut donner aux valeurs C_1 et C_2 d'autres formes; en effet, les équations (6) et (7) montrent que

$$\sqrt{\frac{R_i}{R_t}} = \frac{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}\,s_1} + 1}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}\,s_1} - 1},$$

de sorte que

$$(9) \qquad C_1 = \frac{2e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}\,s_1}}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}\,s_1} - 1} \times E_1,$$

$$(10) \qquad C_2 = -\frac{2}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}\,s_1} -} \times E_1.$$

Bien que les câbles n'aient pas une longueur infinie, on leur applique toujours la formule de la capacité C, déduite pour les longueurs infinies,

$$C = M \frac{l}{2L\frac{r_1}{r_2}}, \tag{11}$$

dans laquelle M est la constante du diélectrique, l la longueur du fil conducteur et r_1, r_2 les rayons de la couche annulaire isolante. D'après cette formule, on voit que la capacité électrique d'un câble est proportionnelle aux longueurs électrisées; de sorte que si nous désignons la capacité d'une longueur égale à l'unité par c, nous obtiendrons la capacité d'une longueur différentielle dS en multipliant c par dS et la quantité de la charge électrique dQ sur cette longueur, ayant un potentiel E, s'exprimera par la formule :

$$dQ = c.E.dS\,;$$

enfin, la charge totale du câble se déduira de l'équation

$$Q = c\int_0^{S_1} E.dS. \tag{12}$$

En substituant dans l'équation (3), les valeurs (9) et (10) des constantes, on obtient

$$E = \frac{e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} \times e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}S} - e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} \times e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S}}{e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} - e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}S_1}} E_1. \tag{13}$$

Substituant la valeur trouvée pour E dans l'équation (12), on arrive à la formule

$$Q_t = \sqrt{\frac{k}{n}}\, \frac{e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} - 1}{e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}S_1} + 1} .c.E_1. \tag{14}$$

SECOND CAS. — *L'extrémité B est isolée.* — Pour $S=0$, E est égale à E_1, et I est égale à zéro, de sorte que

$$2E_1 = C_1 + C_2,$$
$$0 = C_1 e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}s_1} - C_2 e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}s_1},$$

d'où l'on obtient les valeurs de C_1 et de C_2

$$C_1 = \frac{2e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}s_1}}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}s_1}+1} \times E_1,$$
$$C_2 = \frac{2}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}s_1}+1} \times E_1;$$

et pour le potentiel E,

$$E = \frac{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}s_1} \times e^{-\sqrt{\frac{n}{k}}s} + e^{+\sqrt{\frac{n}{k}}s}}{e^{2\sqrt{\frac{n}{k}}s_1}+1} E_1;$$

en substituant cette valeur dans l'équation (12), on arrive à la formule très simple

$$(15) \qquad Q_i = \frac{k}{R'_i} \cdot c \cdot E_1.$$

Ordinairement on mesure la capacité en la comparant à la capacité connue d'un condensateur et alors l'équation (15) peut servir au contrôle des mesures faites sur un fil.

WLADIMIR DE NICOLAIEVE,
Professeur de télégraphie
à l'Institut des ingénieurs des ponts et chaussées
à Saint-Pétersbourg.

Paris, 28 juillet.

ÉTUDE SUR LA TÉLÉPHONIE

(Suite.)

MONTAGE DES APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.

Nous connaissons les organes essentiels d'un appareil téléphonique : les téléphones récepteurs et le microphone transmetteur composé du diaphragme ou plaque vibrante, des charbons et de la bobine d'induction.

Pour rendre l'usage des appareils facile et à la portée du premier venu, ces organes doivent être combinés avec d'autres et disposés convenablement. C'est en cela que consiste le montage des appareils.

Dans la téléphonie, comme dans la télégraphie, il est indispensable d'avertir son correspondant que l'on désire communiquer avec lui. De là la nécessité de transmettre un signal d'appel assez bruyant pour éveiller l'attention.

Les transmetteurs et récepteurs téléphoniques ne pouvant remplir ce but, on a dû recourir à la sonnerie électrique.

Or la combinaison d'un appareil téléphonique avec une sonnerie exige l'emploi d'un commutateur destiné à mettre à volonté la ligne en communication avec la sonnerie ou avec l'appareil, et d'une clef d'appel pour envoyer sur la ligne le courant qui doit faire fonctionner la sonnerie du poste correspondant.

Nous savons, d'autre part, que, pour transmettre la

role, le courant d'une pile doit passer dans le microone et le fil primaire de la bobine d'induction. Si ce rcuit, peu résistant, était constamment fermé, la pile polariserait et s'userait promptement.

Pour obvier à cet inconvénient il faut un interrupteur ui permette de fermer le circuit de la pile sur le microhone lorsque l'on veut parler et, de rompre le circuit uand la conversation est terminée.

En résumé, pour correspondre par téléphone, il faut, près avoir appelé son correspondant, mettre la ligne en ommunication avec l'appareil et fermer le circuit de la ile du microphone; puis, quand la conversation est terinée, mettre la ligne en communication avec la sonneie et rompre le circuit de la pile du microphone.

Cette manœuvre peut être facilement exécutée par un ersonnel exercé au moyen des commutateurs ordinaires mployés en télégraphie.

Il n'en est pas de même pour le public dont la plus rande partie n'est pas initiée aux détails des communiations électriques. Aussi les appareils destinés à son sage sont tous pourvus d'un commutateur spécial dont manœuvre se fait automatiquement, comme on va le oir.

La figure 28 représente en perspective un appareil der complet.

D est la planchette vibrante qui porte les charbons du icrophone dont on connaît la disposition. Elle est llée sur la planche supérieure d'un pupitre ouverte en n milieu pour donner passage aux charbons du microhone.

A l'intérieur du pupitre et sur la planche du fond, nt fixés la bobine d'induction et un commutateur aumatique terminé par un crochet mobile C sortant à

Fig. 28.

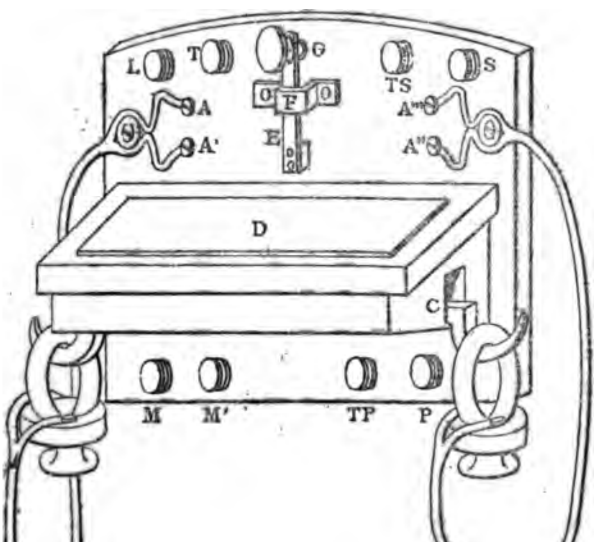
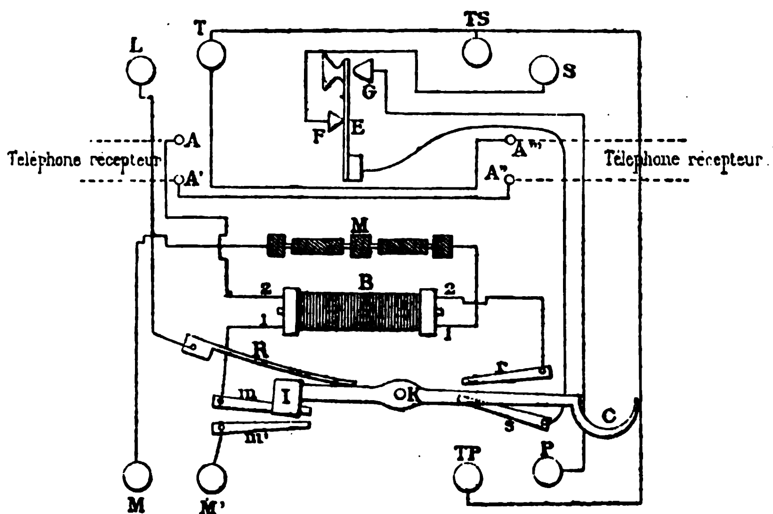

L
T
G
TS
S
A
A'
F
E
A'''
A''
D
C
M
M'
TP
P

Fig. 29.


L
T
TS
S
G
F
E
A
A'
A'''
A''
Téléphone récepteur
Téléphone récepteur
M
B
2
2
1
1
R
r
I
K
m
m'
s
C
M
M'
TP
P

droite du pupitre et auquel on suspend au repos l'un des téléphones récepteurs.

A gauche, un autre crochet, supportant l'autre téléphone, est fixé sur le pupitre.

E est la clef d'appel; la bride F est son contact de réception, et l'enclume G son contact de transmission.

L, T, TS, etc., sont les bornes auxquelles on attache les fils qui viennent à l'appareil.

La figure 29 représente le détail des communications et des organes intérieurs de l'appareil.

A la borne L on met le fil de ligne; à la borne T, le fil de terre ou de retour; aux bornes TS et S, les fils d'une sonnerie; aux bornes M et M', les fils de la pile du microphone; enfin, aux bornes TP et P, les fils de la pile d'appel.

Les petites bornes A, A', A'' et A''' correspondent aux téléphones récepteurs.

En M sont les charbons du microphone.

B est la bobine d'induction.

Le commutateur automatique consiste en un levier IKC, mobile autour du point K et sur lequel appuie un ressort R. L'extrémité C du levier est un crochet sur lequel on place au repos l'un des récepteurs; son extrémité I est un bloc métallique isolé du reste du levier.

Dans son mouvement autour du point K, le bras KC frotte sur deux petits ressorts-lames *r* et *s*, et le bloc I frotte sur les petits ressorts *m* et *m'*.

La position indiquée sur la figure est celle du repos; c'est-à-dire celle dans laquelle le téléphone est accroché en C. Le poids du téléphone suffisant pour vaincre la résistance du ressort R, le levier KC est en contact avec le ressort *s*; le bloc I est en contact avec le ressort *m*.

Nous allons voir que, dans cette position, l'on peut

appeler son correspondant ou recevoir de lui un appel.

En effet, si on appuie sur le bouton de la clé d'appel, celle-ci quitte son contact F pour se mettre en contact avec l'enclume G. Le courant de la pile d'appel, dont l'un des pôles est à la terre ou au fil de retour par la borne TP, vient de la borne P, passe par l'enclume G, la clé E, le ressort *s*, le levier KC et le ressort R du commutateur automatique ; va sur la ligne par la borne L ; arrive au poste correspondant par la borne L ; passe par le ressort R le levier KC et le ressort *s* du commutateur, la clé E et son contact F ; se rend dans la sonnerie par la borne S et en sort pour se perdre à la terre ou sur le fil de retour par la borne TS.

On voit également que, dans cette position du commutateur, le circuit de la pile du microphone, dont les pôles sont reliés aux bornes M et M', est interrompu au ressort *m'* et au bloc I.

Pour communiquer par la parole, l'opérateur, dans chacun des deux postes correspondant, enlève les téléphones récepteurs de leurs crochets de repos et les porte à ses oreilles.

Par suite de ce mouvement et sous la pression du ressort R, le levier IKC du commutateur s'abaisse en I et se relève en C. Le bloc I se met en contact simultanément sur les deux resorts *m* et *m'* tandis que le bras KC, abandonnant le ressort *s*, se met en contact sur le ressort *r*.

Dans cette nouvelle position, le circuit de la pile du microphone se trouve fermé par la borne M, les charbons du microphone, le fil primaire de la bobine d'induction, le ressort *m*, le bloc I, le ressort *m'* et la borne M'. Le circuit de la ligne au fil de retour ou à la terre se complète dans chaque poste en passant par la borne L, le

essort R, le levier KC et le ressort r du commutateur, le fil secondaire de la bobine d'induction, la borne A, le téléphone récepteur de gauche, la borne A', la borne A'', le téléphone récepteur de droite, la borne A''' et la borne T.

Les explications qui précèdent démontrent que le montage d'un appareil fait d'après les dispositions que l'on vient de voir, répond autant qu'il est possible aux conditions qu'exige le service téléphonique confié aux soins de personnes même inexpérimentées. Aussi presque tous les systèmes d'appareils téléphoniques à pile actuellement utilisés en France sont montés de la même façon, ils ne diffèrent les uns des autres que par leur aspect. Tous sont munis d'un commutateur automatique commandé par le crochet-support du téléphone placé à droite de l'appareil. Si les pièces de ce commutateur ne sont pas semblables à celles que nous avons vues, elles fonctionnent de la même manière pour changer, rompre ou établir les communications; de telle sorte que l'examen de la *fig.* 29 suffit pour indiquer toutes les communications par rapport aux organes d'un quelconque de ces appareils.

Par exemple, nous voyons, *fig.* 30, un appareil Maiche et, *fig.* 31, un appareil Bert et d'Arsonval du dernier modèle.

Remarquons que les bornes sont disposées deux par deux comme dans l'appareil représenté *fig.* 28. Elles doivent recevoir les mêmes communications. Pour chacun d'eux, également le crochet porte-téléphone de droite commande le commutateur automatique. Les communications intérieures, par rapport aux divers organes des appareils, sont analogues à celles que montre la *fig.* 29. L'appareil Bert et d'Arsonval porte en B un bouton d'appel; mais ce bouton commande, à l'intérieur de l'appa-

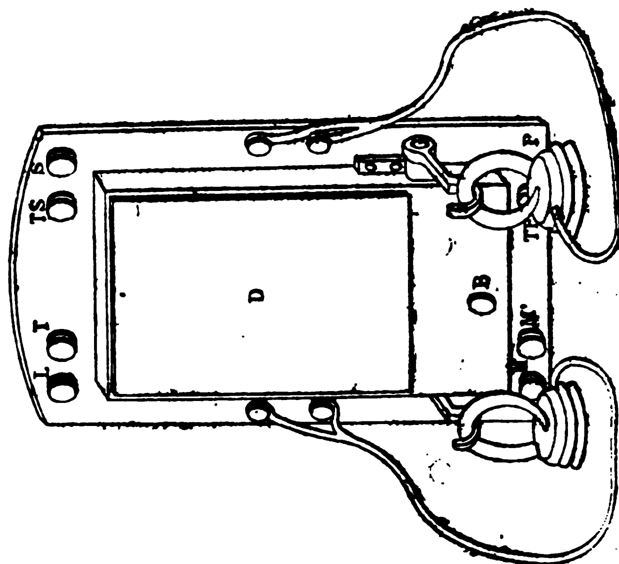


Fig. 31.

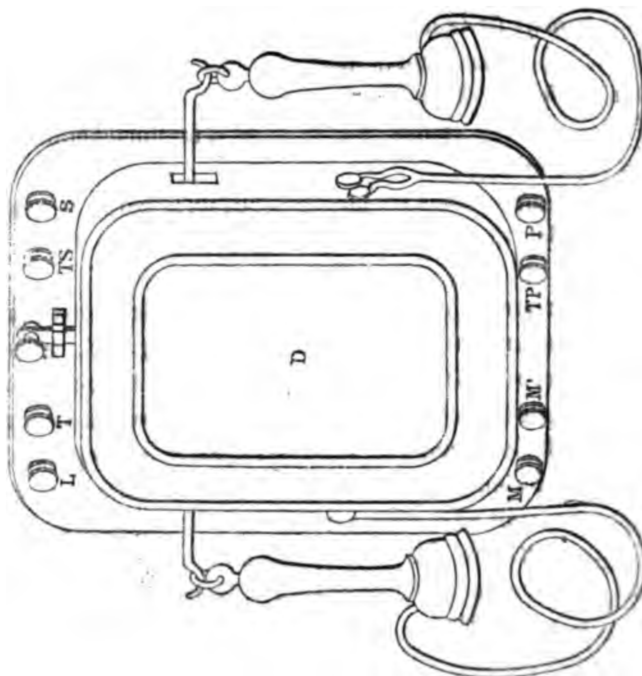


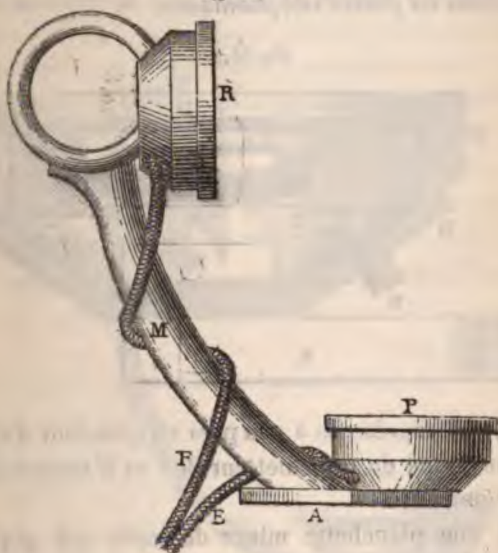
Fig. 30.

reil, une lame à deux contacts remplissant absolument les mêmes fonctions que les clefs des appareils Ader et Maiche.

Les seuls appareils téléphoniques à pile dont le montage diffère de celui qui vient d'être expliqué, sont les appareils portatifs destinés au service des postes centraux téléphoniques ou aux postes mobiles tels que les postes militaires ou ceux qui pourraient être employés pour la recherche des dérangements sur les lignes.

Tous les systèmes microphoniques ne se prêtent pas à ce genre de montage qui exige que le transmetteur puisse fonctionner dans toutes les positions. Or, on sait que presque tous les transmetteurs, en raison de la dis-

Fig. 32.



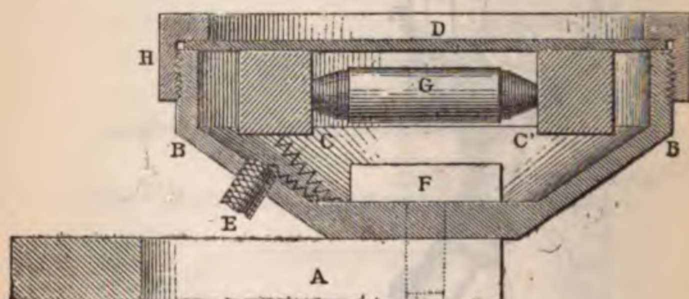
position de leurs charbons, ne peuvent fonctionner que quand ils sont placés dans une position déterminée. Les seuls qui, jusqu'à présent, aient été montés en appareil

portatif sont le système Bert et d'Arsonval et le système Edison.

La *fig.* 32 représente un appareil portatif Bert et d'Arsonval.

Sur un manche M, formé d'un tube métallique, sont fixés, en R le téléphone récepteur, et, en P le transmetteur ou microphone. Deux cordons souples F et E à deux conducteurs, contiennent les communications, le premier, du récepteur, et, le second, du transmetteur. Ce mode de montage ne comporte ni la bobine d'indication, ni la clé d'appel. Ces organes, indispensables cependant, sont placés en dehors de l'appareil qui s'y adapte au moment voulu comme on le verra plus loin dans les installations de postes téléphoniques.

Fig 3?.



La *fig.* 33 représente à peu près en grandeur d'exécution, une coupe du transmetteur Bert et d'Arsonval pour appareil portatif.

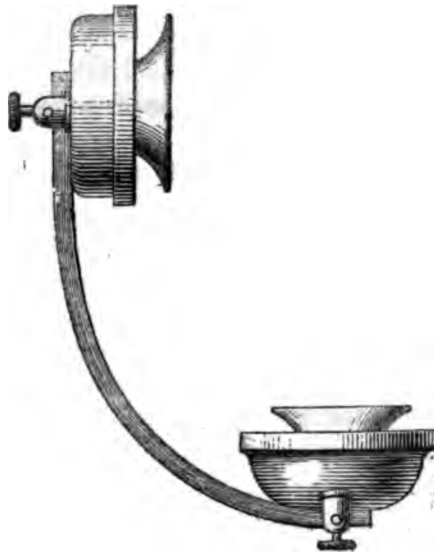
D est une planchette mince de sapin qui porte les charbons du microphone dont la disposition a été décrite. Cette planchette est maintenue sur la boîte métallique B par son couvercle H en forme de bague taraudée à rebord qui se visse sur la boîte.

A est l'aimant qui agit sur les charbons garnis de tôle pour les maintenir convenablement en place. Cette action magnétique s'exerce par l'intermédiaire du bloc F en fer doux qui est vissé sur l'aimant.

E est le cordon souple des communications du microphone.

L'utilité de l'appareil portatif se justifie par la nécessité imposée à l'opérateur de tenir la conversation tout en exécutant un travail demandé par son correspondant. A cet effet, il tient l'appareil d'une main et applique le récepteur à son oreille; le transmetteur se trouve naturellement placé devant sa bouche; son autre main reste libre et les cordons souples de l'appareil lui permettent de se mouvoir et d'agir dans un espace suffisant.

Fig. 34.



L'appareil portatif (*fig.* 34), utilisant le transmetteur

Edison, est monté comme le précédent avec la différence inhérente aux deux systèmes de transmetteur et de récepteur. Dans le dernier, le transmetteur est un téléphone Bell dont l'aimant forme le manche de l'appareil.

Ces deux systèmes donnent de bons résultats dans la pratique ; il faut signaler cependant la nécessité d'un réglage assez fréquent du transmetteur Edison, tandis que le système Bert et d'Arsonval ne se dérègle pas.

INSTALLATIONS DE POSTES TÉLÉPHONIQUES

Les installations de postes téléphoniques comportent, outre les appareils téléphoniques et les sonneries, d'autres appareils accessoires dont la description préalable est nécessaire pour l'intelligence des installations.

Relais indicateur d'appel ou annonciateur.

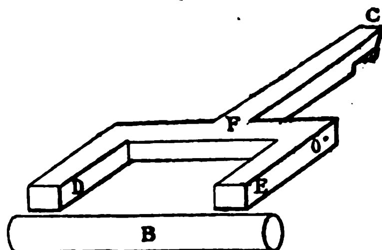
Le relais indicateur d'appel ou annonciateur est utilisé, dans les postes où plusieurs lignes sont desservies par un seul appareil, pour indiquer la ligne sur laquelle un appel a été fait.

Il est facile d'imaginer un appareil qui remplisse ce but ; aussi en existe-t-il actuellement de plusieurs types. On voit, *fig.* 35, 36 et 37, les détails de celui qui a été employé par l'administration des télégraphes pour l'installation des postes centraux téléphoniques de Reims et de Roubaix.

Ce système de relais est basé sur l'emploi d'un électro-aimant droit agissant par ses deux pôles sur une armature. A cet effet, l'armature est faite en forme de fourchette

DCE (*fig.* 35) dont les branches D et E correspondent chacune à l'un des pôles du noyau B de l'électro-aimant.

Fig. 35.



Sur une planchette en bois (coupe, *fig.* 36) est fixé un bâti métallique H, en forme de chape qui porte l'électro-aimant E du relais et son armature. Celle-ci est suspendue sur deux vis à pointe de façon qu'elle soit mobile autour d'un axe passant par le point O et un autre diamétralement opposé. La queue FC de l'armature, plus lourde que ses deux branches, est terminée par un crochet qui retient un disque métallique D ou volet à charnière.

Quand un courant est envoyé dans l'électro-aimant, les deux branches de l'armature sont attirées; le crochet C se soulève et ne retient plus le disque D qui tombe par son propre poids et vient prendre la position D′ en se mettant en contact sur la pointe de la vis S. Ce contact a pour but, comme on le verra plus loin, de fermer le circuit d'une pile locale à travers une sonnerie afin d'avertir que l'on a appelé.

La vis S passe dans la plaque de la charnière; mais elle en est isolée par une gaine en caoutchouc.

La *fig.* 37 montre, de face, une planchette M derrière laquelle seraient montés deux relais-indicateurs d'appel dont le disque du premier est relevé sous le crochet C, et celui du second est tombé. Chaque disque porte, sur

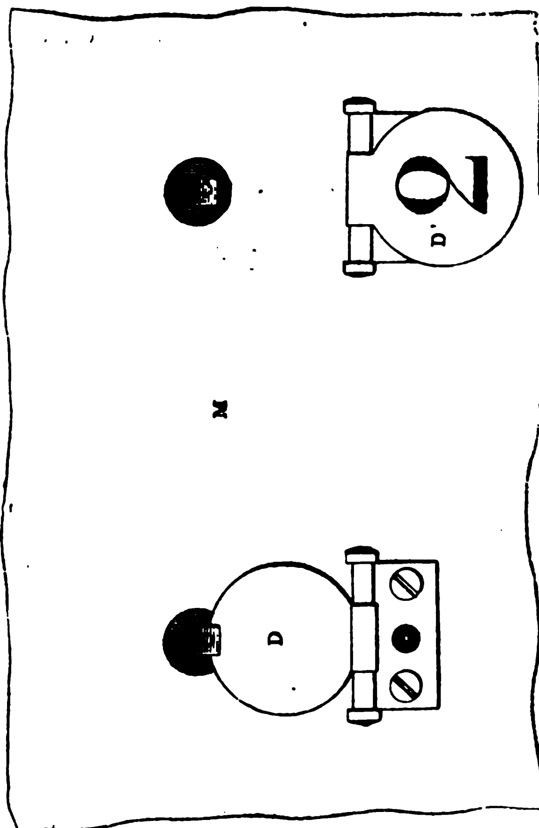


Fig. 37.

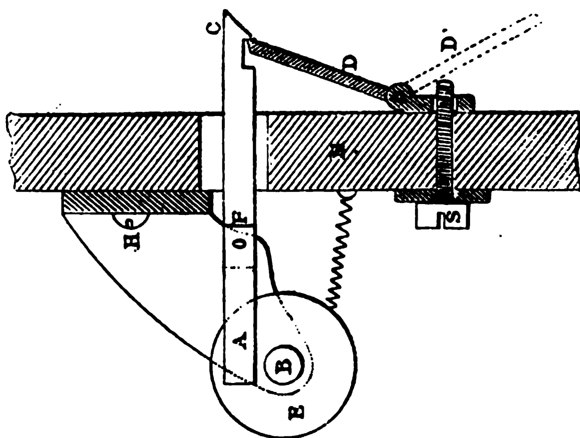


Fig. 36.

son revers, un numéro d'ordre que l'on aperçoit à chaque appel après le déclanchement du disque.

Depuis la mise en pratique de cet annonciateur, quelques perfectionnements ont été apportés dans sa construction.

Le dernier modèle perfectionné est représenté *fig.* 38 en profil et, *fig.* 39, de face par derrière.

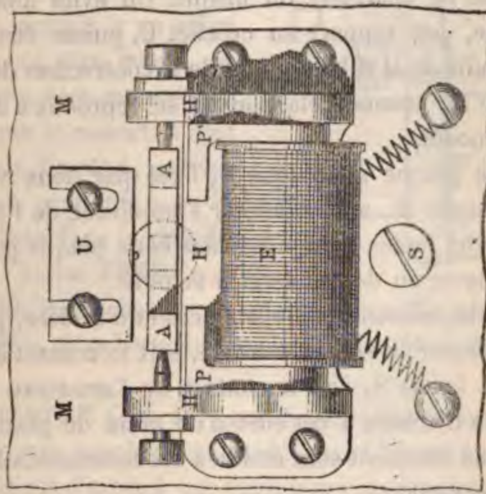


Fig. 39.

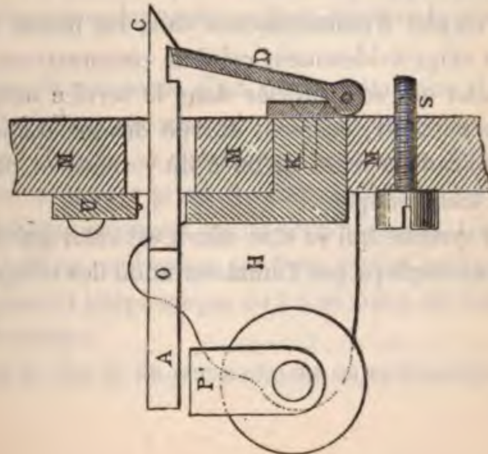


Fig. 38.

Deux plaques polaires recourbées P et P', en fer doux, ont été ajoutées sur les pôles de l'électro-aimant. Elles ont pour but de présenter aux bras de l'armature une plus grande surface magnétique et, par conséquent, une plus grande force attractive.

Le nouveau bâti H porte, sur sa semelle, un téton K qui traverse la planchette M et sur lequel se visse la plaque de charnière du disque. On évite ainsi que le disque, par rapport au crochet C, puisse être déplacé par suite de la dilatation ou de la contraction de la planchette M, comme cela pouvait se reproduire dans l'ancien modèle.

Une plaque métallique U, fixée par deux vis sur la planchette M, sert à limiter l'amplitude de l'armature. Les deux fentes pratiquées dans cette plaque permettent de l'élever ou de l'abaisser à volonté.

La disposition de ce relais permet d'utiliser, pour faire fonctionner la sonnerie locale, soit le contact du disque D sur la vis S, soit le contact de l'armature contre la plaque U munie à cet effet d'un grain de platine. Nous verrons comment sont établies les communications dans les deux cas.

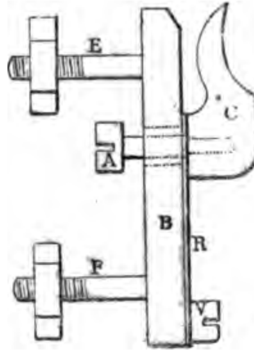
L'emploi d'annonciateurs dans les postes téléphoniques exige évidemment celui de commutateurs. L'usage de ceux qui sont utilisés dans le service télégraphique entraîneraient, au point de vue des installations, à des complications telles qu'on a dû y renoncer pour le service téléphonique.

Le système qui va être décrit est celui qui est actuellement employé par l'administration des télégraphes.

Commutateurs à crochets.

Sur un bloc métallique B (*fig.* 40) est fixé, par son extrémité inférieure au moyen d'une vis V, un ressort-lame rigide R muni à sa partie supérieure d'un crochet métallique C qui, soumis à un effort suffisant, peut être écarté du bloc B pour y être ramené ensuite dès que le ressort R agit seul. Une vis d'arrêt A, passant par un trou pratiqué dans le bloc B, et fixée dans la tête du crochet C, limite l'écart que peut prendre le crochet par rapport au bloc. Le tout se monte sur une planchette au moyen des boulons à écrou E et F.

Fig. 40.



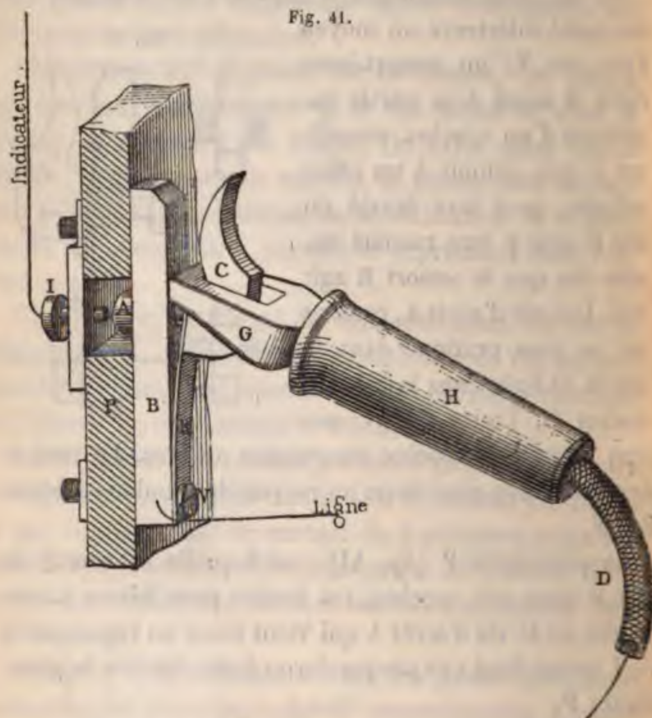
La planchette P (*fig.* 41), sur laquelle est monté le bloc B avec son crochet, est évidée pour laisser passer la tête de la vis d'arrêt A qui vient buter au repos sur la vis I tenue dans une plaque-écrou fixée derrière la planchette P.

GH est une clé composée d'un piton métallique G, à mortaise, vissé dans un manche creux H en corne ou autre matière isolante. A l'intérieur du manche H, est fixée, par une vis sur le piton G, l'extrémité d'un conducteur métallique recouvert par un cordon souple. L'autre extrémité de ce conducteur est fixée le plus ordinairement à l'appareil téléphonique ou à une autre clé semblable à la première.

Supposons le bloc B du commutateur en communica-

tion avec une ligne et, la vis-butoir I en communication avec un relais-indicateur. Si on place la clé GH sur le crochet C comme on le voit sur la *fig.* 41, ce crochet est

Fig. 41.



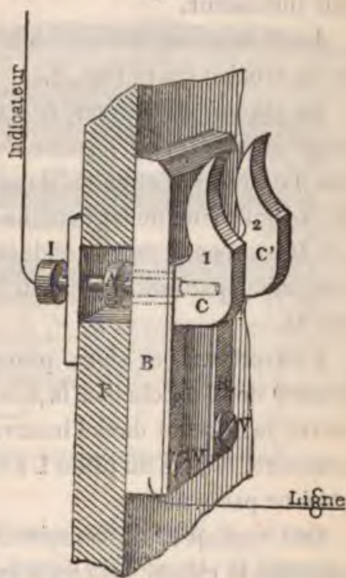
écarté du bloc B et la vis A s'éloigne de la vis I. La ligne se trouve ainsi en communication avec l'appareil auquel aboutit le cordon souple de la clé. Si on enlève la clé GH du crochet C, celui-ci, poussé par le ressort R, se rapproche vivement du bloc B et la vis A se met en contact sur la vis I. La ligne est alors en communication avec le relais-indicateur.

Le bloc B, le crochet à ressort C avec sa vis d'arrêt A

et la vis de contact I avec sa plaque-écrou, représentés *fig.* 41, constituent un commutateur à un crochet qui permet de diriger une ligne à volonté sur deux directions différentes. Ce changement de communication est insuffisant pour le service téléphonique; aussi la description de ce commutateur n'a pour but que de faire comprendre le jeu du crochet avec sa vis-butoir et la manœuvre de la clé.

Le commutateur le plus fréquemment utilisé en téléphonie doit donner la possibilité de mettre la ligne à volonté en communication avec l'un ou l'autre de deux appareils séparément, ou avec les deux à la fois en dérivation. Ce commutateur prend une disposition différente selon qu'il s'applique à une ligne simple ou à une ligne double.

Fig. 42.



Pour les lignes simples, on se sert d'un commutateur à deux crochets C et C' (*fig.* 42) montés sur un même bloc métallique B. On appelle le crochet C, crochet de gauche ou crochet 1; et, le crochet C', crochet de droite ou crochet 2.

Le crochet 1 bute au repos par la vis d'arrêt sur la vis de contact I. Le crochet 2 n'a pas de contact.

Au repos des crochets, la ligne est en communication avec l'indicateur par le bloc B et la vis I.

Si on place une clé sur le crochet 1, le contact de ce crochet avec la vis I est rompu et la ligne n'est en communication par le crochet 1 qu'avec la clé et l'appareil auquel elle correspond.

Si on place la clé sur le crochet 2, la ligne se trouve en communication avec la clé par le crochet 2, et en même temps avec l'indicateur par le crochet 1 et la vis I.

Pour les lignes doubles, on se sert d'un commutateur à trois crochets (*fig.* 43) montés sur une planchette P et ayant chacun son socle métallique.

Le crochet de gauche ou crochet 1 a seul une vis de contact en dessous de la planchette.

Le fil de ligne arrive aux socles des crochets extrêmes, 1 et 3, et va, par la vis de contact du crochet 1, au relais indicateur.

Le fil de retour est relié à la sortie du relais indicateur et au crochet du milieu, 2.

La clé employée pour ce commutateur (*fig.* 44) est à deux pitons, L et L', isolés l'un de l'autre par une plaque I en ébonite et vissés dans le manche creux en corne M. A l'intérieur de ce manche est passé un cordon souple D contenant deux conducteurs L et L', fixés à leur extrémité, par une vis, L sur le piton L et, L' sur le piton L'.

L'ouverture des deux pitons permet à la clé d'embrasser deux crochets à la fois. La joue du piton L' peut entrer facilement dans l'intervalle de deux crochets. Au contraire, la joue du piton L a une épaisseur assez grande pour ne pas y entrer.

Ceci expliqué, on comprendra facilement que si l'on accroche la clé sur les crochets 1 et 2, le piton L', dont la joue peu épaisse peut passer entre deux crochets, sera

placé sur le crochet 2 ; tandis que le piton L dont la joue est trop épaisse sera placé sur le crochet 1.

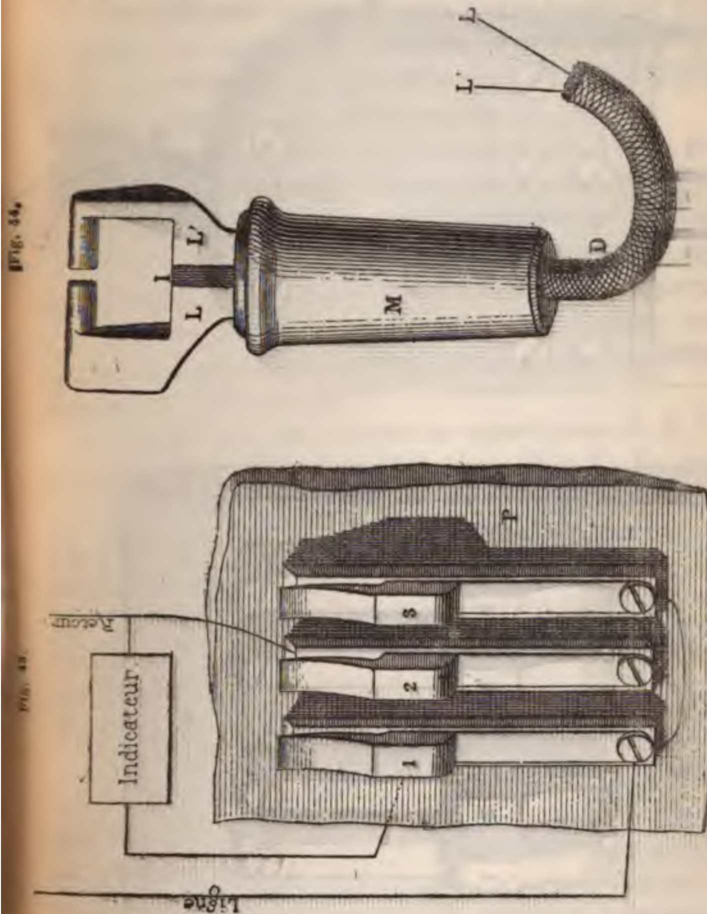


Fig. 44.

Fig. 43.

Quand on place la clé sur les crochets 1 et 2, le contact du crochet 1 sur sa vis-butoir est rompu ; la ligne L est en communication avec le fil L du cordon souple par

le piton L, et, le fil de retour, avec le fil L' du cordon souple par le piton L'.

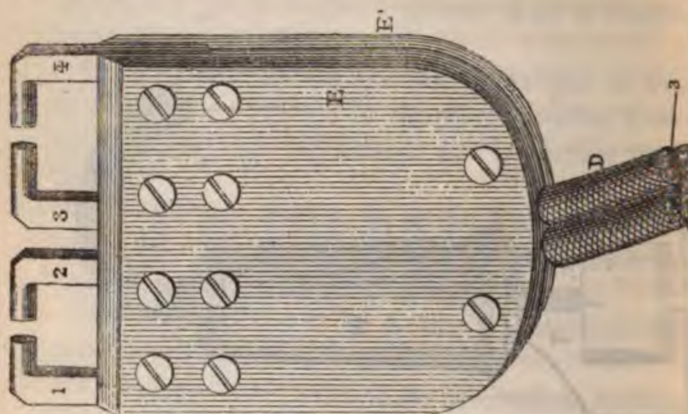


Fig. 46.

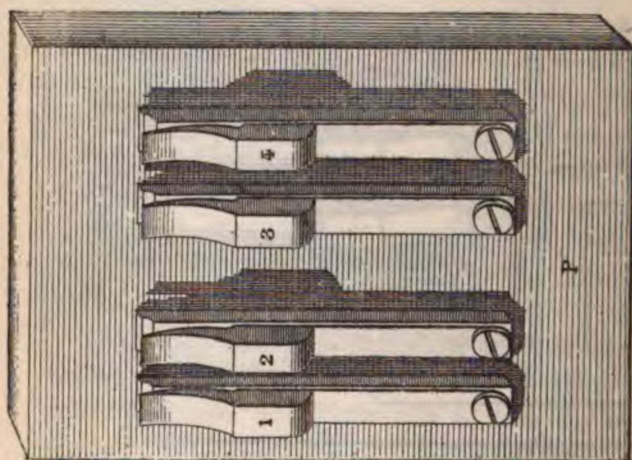


Fig. 45.

Quand on place la clé sur les crochets 2 et 3, la ligne reste en communication avec l'indicateur par le crochet 1 et sa vis de contact : elle est mise en outre en commu-

nication avec le fil L du cordon souple par le crochet 3 et le piton L de la clé. Le fil de retour, qui est en communication permanente avec la sortie de l'indicateur, l'est également avec le fil L' du cordon souple par le crochet 2 et le piton L' de la clé. Dans cette position, le relais indicateur se trouve donc en dérivation entre les deux fils L et L' du cordon souple.

Le commutateur à quatre crochets (*fig.* 45) est particulièrement destiné à l'installation des appareils portatifs de poste central. Les quatre crochets qui le composent n'ont pas de vis de contact. Ils sont fixés sur la planchette P de façon à laisser entre eux des intervalles inégaux. Cette disposition a pour but d'obtenir que la clé de ce commutateur soit toujours placée dans le même sens sur les crochets.

La clé (*fig.* 46) consiste en quatre pitons 1, 2, 3, 4, fixés entre deux plaques isolantes E et E'. Un cordon souple quadruple contient quatre conducteurs. L'une des extrémités des conducteurs 1 et 2 est fixée aux pitons 1 et 2 de la clé et, leur autre extrémité, aux charbons de l'appareil portatif. Les conducteurs 3 et 4 sont reliés par l'une de leurs extrémités aux pitons 3 et 4 de la clé et, par l'autre au récepteur de l'appareil portatif.

On voit, d'après la forme et l'écartement des pitons de la clé, qu'elle ne peut se placer sur les crochets que d'une seule manière et de façon qu'ils correspondent entre eux, chacun dans l'ordre de son numéro.

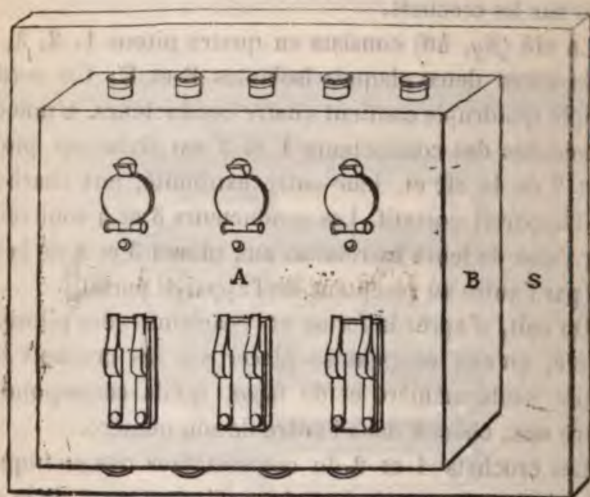
Les crochets 1 et 2 du commutateur communiquent au circuit primaire de la bobine d'induction et de la pile du microphone; les crochets 3 et 4, au circuit secondaire de la bobine d'induction. Il en résulte que, quand on place la clé sur les crochets du commutateur, le transmetteur de l'appareil portatif ferme par ses charbons le

circuit primaire de la bobine d'induction et de la pile du microphone, tandis que le téléphone récepteur est mis dans le circuit secondaire de la bobine d'induction, conditions qui permettent de communiquer par cet appareil.

Tableaux annonciateurs.

Les relais-indicateurs d'appel et les commutateurs à crochets se montent en nombre suffisant sur des tableaux de dimensions et de dispositions en rapport avec l'usage auquel on les destine. On donne à ces tableaux le nom de tableaux annonciateurs.

Fig. 47.



La *fig.* 47 représente un tableau de trois indicateurs et trois commutateurs pour ligne simple. Il se compose d'une boîte AB fermée postérieurement par un socle ou planchette en bois S sur lequel elle est fixée. Les relais

indicateurs et les commutateurs sont montés sur la face antérieure A de la boîte AB.

On construit ordinairement sous cette forme les tableaux annonciateurs destinés aux postes téléphoniques à plusieurs directions dont le nombre n'excède pas vingt-cinq ou trente au maximum.

Les postes qui doivent desservir un plus grand nombre de lignes exigent un modèle spécial de tableau annociateur qui sera décrit en même temps que l'installation des postes centraux téléphoniques.

La vue de la *fig.* 47 ne permet de se rendre compte que de la disposition extérieure d'un tableau. Sa disposition et ses communications intérieures qui varient suivant les postes et les lignes auxquels il s'applique seront indiquées au fur et à mesure et spécialement pour chacune des installations qui vont être étudiées.

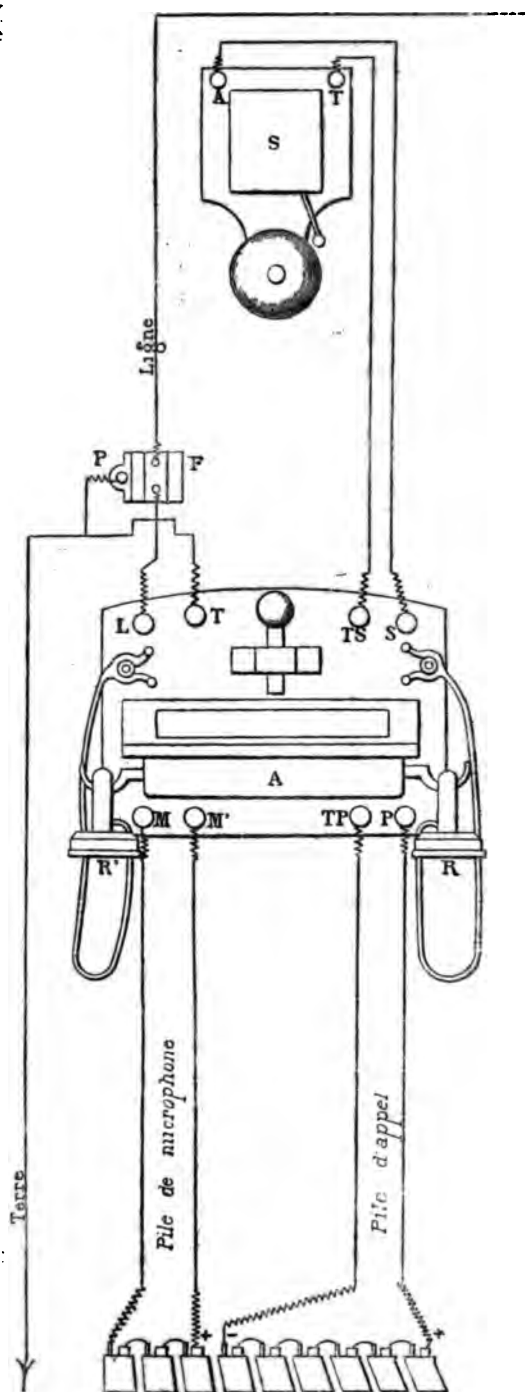
INSTALLATION D'UN POSTE TÉLÉPHONIQUE A DIRECTION UNIQUE SUR LIGNE SIMPLE

Cette installation (*fig.* 48), comprend un appareil téléphonique (transmetteur et récepteurs) en A, une sonnerie en S et deux piles. Un paratonnerre PF n'est nécessaire que sur les lignes aériennes.

Le montage de l'appareil étant connu, il est facile d'expliquer la manœuvre et le fonctionnement du poste.

Pour appeler le poste correspondant, on appuie pendant une ou deux secondes sur le bouton de la clé d'appel qui est alors mise sur son contact inférieur. Le courant négatif de la pile d'appel se perd à la terre par les bornes TP, TS et T de l'appareil, tandis que le courant positif, passant par la borne P de l'appareil, le contact inférieur et le levier de la clé d'appel, le commutateur automa-

Fig. 48.



A
T
S
Ligne
P
F
L
T
TS
S
A
M
M'
TP
P
R'
R
Pile de microphone
Pile d'appel
Terre

tique et la borne L, va sur la ligne. Il arrive au poste correspondant à la borne L de l'appareil ; passe par le commutateur automatique, le levier et le contact supérieur de la clé d'appel et la borne S; entre dans la sonnerie par la borne A, en sort par la borne T et va se perdre à la terre par les bornes TS et T de l'appareil. La sonnerie fonctionne sous l'influence du courant. Dès que le correspondant, averti par la sonnerie, a répondu en faisant un signal analogue, chaque opérateur décroche les récepteurs R et R' et les porte aux oreilles. Dans les deux postes le commutateur automatique, n'étant plus retenu par le poids du récepteur R, ferme le circuit de la pile de microphone à travers les charbons du transmetteur et le fil primaire de la bobine d'induction ; en même temps le circuit de la ligne, à partir de la borne L de l'appareil, se complète par le commutateur automatique, le fil secondaire de la bobine d'induction, les téléphones récepteurs, la borne T et la terre. Les deux opérateurs peuvent alors communiquer par la parole. Dès qu'ils ont terminé la conversation, ils doivent suspendre les téléphones aux crochets de l'appareil afin que le commutateur automatique rompe le circuit de la pile de microphone et remette la ligne en communication avec la sonnerie.

La pile employée avec le plus de succès, jusqu'à ces derniers temps, pour les installations téléphoniques est la pile Leclanché que l'on connaît sous deux types différents d'éléments de force électro-motrice sensiblement égale, mais d'intensité différente.

L'élément aggloméré avec zinc à grande surface, qui a moins de résistance intérieure et, conséquemment plus d'intensité, est préférable pour la pile de microphone.

L'élément à vase poreux, de force électro-motrice égale

au premier, mais d'une plus grande résistance intérieure, produit une intensité moindre, et son emploi comme pile de microphone donne des résultats peu satisfaisants. Mais, en raison de son faible prix de revient, il y a avantage à s'en servir comme pile d'appel.

Toutefois la pile Leclanché présente encore des inconvénients, même l'élément aggloméré, lorsqu'il est appliqué au microphone. Il se polarise peu à peu et lorsqu'il s'agit de tenir une longue conversation on s'aperçoit à la fin que le son de la voix a faibli. Aussi, dans certains cas, notamment pour le service des postes centraux et des auditions téléphoniques, on est obligé d'avoir, pour chaque microphone, plusieurs piles de rechange qu'on utilise alternativement.

On a essayé récemment avec le plus grand succès, à la direction régionale de Paris, une nouvelle pile de M. de Lalande, qui, à volume égal à celui de la pile Leclanché, peut fournir un service consécutif d'au moins deux cents heures sur un microphone sans se polariser assez sensiblement pour qu'on observe le moindre affaiblissement dans le son de la voix.

D'après ces résultats, il n'est pas douteux que l'on doive, au moins pour l'usage au microphone, prendre de préférence la pile de Lalande.

Le nombre des éléments qui doivent agir sur les charbons des transmetteurs téléphoniques est déterminé en pratique par les considérations suivantes :

L'énergie des courants induits développés dans le fil secondaire de la bobine d'induction, et agissant sur les appareils récepteurs, est proportionnelle à l'intensité du courant qui circule dans le microphone et le circuit primaire de la bobine. Or, on sait que l'intensité d'un courant ne croît pas en raison du nombre d'éléments mon-

tés en tension qui composent une pile. D'autre part, quand la tension de cette pile dépasse 3 ou 4 volts les charbons du microphone se brûlent et produisent sur le téléphone un bruit anormal connu sous le nom de friture et qui nuit sensiblement à la réception téléphonique. Cette combustion, quoique lente, a, en outre, l'inconvénient de dégrader les transmetteurs et de les rendre en peu de temps impropres au service. La pratique démontre que, dans tous les cas, on ne doit pas employer plus de trois éléments Leclanché en tension. Les éléments de Lalande ont une tension moindre; mais une intensité plus grande; leur nombre pour le même usage ne doit pas dépasser quatre en tension ; trois sont d'ailleurs suffisants et donnent des résultats aussi satisfaisants que le même nombre d'éléments Leclanché.

La nature des éléments de la pile d'appel est indifférente. L'administration des télégraphes a utilisé jusqu'à présent les éléments Leclanché à vase poreux construits dans ses ateliers. Leur nombre doit être proportionné à à la longueur et à la résistance de la ligne. Dans les postes des réseaux urbains de l'administration, on emploie six éléments disposés comme on le voit *fig.* 48.

Sur une ligne locale, la pile de microphone peut se vir également de pile d'appel. Pour cela elle doit être disposée comme l'indique la *fig.* 49. L'un de ses pôles est relié aux bornes M et TP; l'autre, aux bornes M' et P de l'appareil.

Sur une ligne qui exige une pile d'appel plus forte on peut utiliser les éléments de la pile microphone auxquels on ajoute en tension d'autres éléments en nombre suffisant. Cette disposition, représentée *fig.* 50, permet d'économiser trois éléments. Le pôle négatif de la pile de microphone est relié aux bornes M et TP de l'appareil ;

son pôle positif est relié à la borne M′ et au pôle négatif de la pile supplémentaire ; enfin le pôle positif de la pile

Fig. 49.

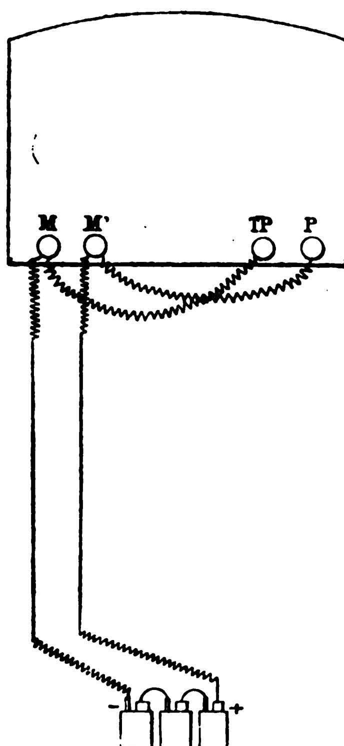
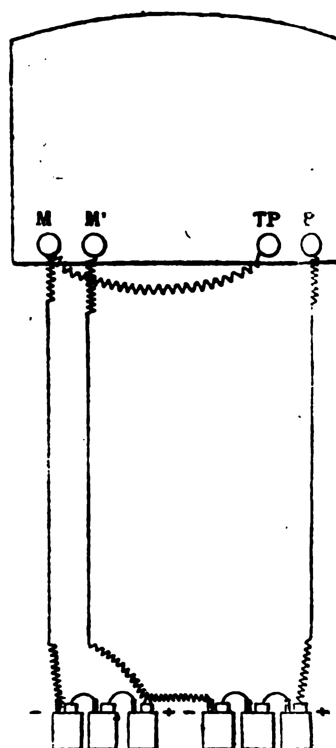


Fig. 50.



totale est relié à la borne P de l'appareil. De cette façon, l'appel se fait avec le courant de tous les éléments réunis en tension, tandis que le courant des trois premiers seulement peut agir sur le microphone.

(*A suivre.*) SIEUR.

DÉTERMINATION

DE

LA RÉSISTANCE INTÉRIEURE INERTE

D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE QUELCONQUE

MALGRÉ LES ACTIONS PERTURBATRICES DE SES FORCES ÉLECTROMOTRICES INTÉRIEURES

INCONNUES COMME NOMBRE SIÈGE ET GRANDEUR.

NOTE DE M. G. CABANELLAS.

M. L. Thevenin (*Comptes rendus*) a exprimé (Voir le n° de mai-juin, page 222), en théorème plus général, une utile remarque présentant tout le caractère de certitude physique, et que la pratique usuelle consacrait déjà sous plusieurs formes; un théorème formulé par M. Pollard était une application, implicite, au cas particulier des piles shuntées. Nous pensons qu'il n'est pas sans intérêt : 1° de produire quelques observations au sujet de l'énoncé et de la démonstration, qui doivent être serrés de plus près pour leur donner le surcroît de généralité qu'ils comportent; 2° de faire connaître, à cette occasion, une méthode de mesure de la résistance inerte des systèmes simples ou complexes, méthode qui, dans les circonstances perturbatrices en question, peut s'appliquer généralement, par exemple, soit avec le pont de Wheatstone, soit avec le dispositif à deux galvanomètres.

1° Il me semble à la fois plus général et plus net

d'énoncer ainsi le théorème : *Si un système électrique quelconque, à l'état permanent des tensions, est relié par deux quelconques de ses points, à un second système électrique quelconque, on peut, sans modifier aucun des effets du premier système sur le second, réduire entre les deux points, le premier système à la simple expression d'une résistance égale à la résistance inerte du système entre ces points, et à une force électromotrice égale à la différence des potentiels primitifs des deux points du premier système.* On voit, d'après cet énoncé, que le second système peut être quelconque et animé de forces électromotrices quelconques, car il n'y a aucune raison de s'en tenir au seul cas de la fermeture du premier système sur une simple résistance inerte.

En outre, ce théorème paraît comporter un énoncé plutôt qu'une démonstration; il suffit, en effet, de constater qu'à tout point de vue extérieur au premier système, et par suite, à deux points quelconques lui appartenant, ce premier système est évidemment un circuit ouvert pour ce qui est extérieur, et la force électromotrice de ce circuit ouvert est nécessairement la différence des potentiels manifestés en ces deux points, par cela même que ledit circuit est ouvert au delà de ces deux points. Quant à la résistance de ce circuit ouvert, elle est évidemment aussi la résistance *inerte* du système, mesurée entre ces deux points.

Du reste, dans la pratique courante, chaque fois que nous utilisons un groupement quelconque de ab éléments de pile de résistances intérieures R et de forces électromotrices E (a séries de b éléments en quantité), nous ne faisons pas autre chose que d'admettre, sous une forme déjà complexe, le théorème comme évident,

puisque nous affectons à cet électromoteur résultant une valeur aE de force électromotrice, égale à la différence des potentiels primitifs des deux points, et une valeur $\frac{a\mathrm{R}}{b}$ de résistance intérieure, égale à la résistance inerte du système entre ces deux points (*).

2° Voici la méthode de mesure : soit R la résistance inerte du système entre les points A et B de potentiels V_A et V_B (primitifs) mesurés à circuit ouvert, soit $e = V_A - V_B$.

Fermons le circuit par une résistance extérieure r animée d'une force électromotrice E tendant à produire un courant de sens contraire à e. Appelons R_E la résistance apparente ou effective que nous observerons par mesure directe, par exemple au pont ou au dispositif à deux galvanomètres, pendant l'action de la force intérieure e. Si ε et i sont la différence des potentiels effectifs et l'intensité effective pendant la mesure, nous aurons $R_E = \frac{\varepsilon}{i}$, mais $\varepsilon = e + Ri$, donc $R_E = R + \frac{e}{i}$; or $i = \frac{E - e}{r + R}$, donc

$$R_E = R + \frac{e(r + R)}{E - e} \ (^{**}).$$

(*) On peut s'étonner que, voulant généraliser, nous ayons établi une distinction entre les deux systèmes électriques; la raison est que les forces électromotrices du second système peuvent être variables sans infirmer le théorème. Si le second système ne comprend que des forces électromotrices invariables, on peut considérer la liaison d'un nombre quelconque de seconds systèmes à un pareil nombre de couples distincts de points du premier système, mais l'énoncé perdrait sa simplicité, car chaque force électromotrice et chaque résistance du premier système devraient être déterminées sur l'ensemble total en action, moins le second système considéré. Certaines applications rentrent cependant dans ce cas complexe.

(**) Avec le dispositif à deux galvanomètres, i étant le courant principal, r est la résistance telle quelle du reste du dispositif extérieur, il comprend la source extérieure d'électricité. Mais avec le pont, si a est le côté du parallélogramme contigu à R_E et aboutissant avec lui à la

D'abord on voit que R_x ne peut égaler R que si $e=0$ ou si $E=\infty$; pour toute valeur finie de e, R_x variera de ∞ à R lorsque E variera de e à ∞. Posant $n=\frac{E}{e}$, la formule précédente devient successivement

$$R_x = R + \frac{r+R}{n-1}, \quad \frac{r+R}{-1} = R_x - R, \quad n-1 = \frac{r+R}{R_x - R},$$

$$(\alpha) \qquad n = 1 + \frac{r-R}{R_x - R}.$$

Une seconde mesure avec une résistance extérieure r' et une force électromotrice E' donnerait aussi, pour $n'=\frac{E'}{e}$,

$$(\alpha') \qquad n' = 1 + \frac{r'+R}{R_{x'} - R}.$$

Divisant (α) par (α'), il vient, puisque $\frac{n}{n'}=\frac{E}{E'}$,

$$\frac{E}{E'} = \frac{1+\frac{r+R}{R_x - R}}{1+\frac{r'+R}{R_{x'} - R}},$$

équation qui, résolue par rapport à R, donne

$$R = \frac{R_x R(R_{x'}+r') - R_{x'}E'(R_x+r)}{E(R_x+r') - E'(R_x+r)}.$$

même extrémité du fil du galvanomètre du pont, b et c étant les autres côtés correspondants du pont, on a $R_x = \frac{ab}{c}$; i et ε se rapportent à R_x quatrième côté du parallélogramme; i étant connu pour R_x, on a $\varepsilon = \frac{abi}{c}$, et appelant s la résistance du dispositif de la source d'électricité jusqu'au pont, on a $i = \frac{E}{R_x + a + (R_x+a)s\left(\frac{1}{R_x+a}+\frac{1}{b+c}\right)}$; E est la force électromotrice de la source du pont; $r = a + s(R_x + a) \times \left(\frac{1}{R_x+a}+\frac{1}{b+c}\right)$.

Il est entendu que l'emploi de cette formule est légitime seulement lorsque les forces électromotrices intérieures connues ou inconnues du système sont restées les mêmes au moment des deux observations, ou au moins lorsque leur résultante n'a pas varié par rapport aux deux points considérés. R étant déterminé, e est connu, car $\varepsilon = R_E i$ et $e = \varepsilon - Ri$, de même $\varepsilon' = R_{E'} i'$ et $e = \varepsilon' - Ri$ (*); la méthode donne donc aussi le moyen de savoir si la résultante des forces électromotrices intérieures est ou n'est pas restée constante.

(*) Pour des forces électromotrices intérieures invariables et réparties de telle sorte qu'il existe des potentiels primitifs différents aux deux points entre lesquels on veut connaître la résistance inerte du système, la formule $R = \frac{e}{i} - r$ donne R par une seule observation quand on peut employer le dispositif à deux galvanomètres étalonnés. Dans le cas particulier où les potentiels sont égaux, e est nul, on a, au dispositif, pour un r extérieur siège d'une force E, $R = \frac{E}{i} - r$. Mais alors la méthode usuelle du pont est directement applicable : c'est la donnée ordinaire de la détermination de toute résistance inerte.

SUR LA

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

AU MOYEN DU GALVANOMÈTRE

Parmi les conséquences pratiques du théorème d'électricité dynamique inséré dans le dernier numéro des *Annales* (p. 222), je crois devoir signaler aujourd'hui son application à la détermination expérimentale de la différence des potentiels V et V' en deux points A et A' d'un réseau de conducteurs parcourus par des courants constants.

L'emploi de l'électromètre fournit une solution rigoureuse du problème, et cette solution est, à tous les égards, la plus satisfaisante ; mais la mise en station et le réglage de l'instrument exigent, de la part de l'expérimentateur, une habileté peu commune, et réclame, dans tous les cas, un temps assez long. On a donc souvent recours au galvanomètre ; la méthode usitée est alors la suivante :

L'appareil est placé en dérivation, c'est-à-dire que les deux extrémités du fil des bobines aboutissent en A et A'. On observe la déviation de l'aimant, et, connaissant la constante de l'appareil, on en déduit l'intensité i du courant dérivé. Ceci posé, si la résistance r de la branche contenant le galvanomètre est *très grande*, on admet que l'introduction de cette résistance n'a pas changé sensiblement le régime primitif des courants, c'est-à-dire que la nouvelle différence $v - v'$ des potentiels des points

A et A′ est sensiblement égale à la différence cherchée V — V′, et l'on accepte pour valeur de la quantité cherchée, l'expression

$$v - v' = i \times r.$$

Mais que faut-il entendre par une résistance *très grande?* Il est clair qu'il ne s'agit pas ici d'une résistance très grande d'une manière absolue, mais très grande par rapport à une autre résistance. Quelle est cette autre résistance, et sur quelle approximation peut-on compter? Ce sont là deux questions importantes, sur lesquelles aucun traité de mesure ne donne, à ma connaissance, d'explications. Or j'ai démontré que, si R représente la résistance du réseau primitif mesurée entre les points A et A′ considérés comme électrodes, la valeur véritable de V — V′ est donnée par la relation

$$V - V' = i(r + R).$$

L'erreur absolue est donc

$$V - V' - (v - v') = iR,$$

et l'erreur relative est

$$\frac{R}{r + R} = \frac{1}{\frac{r}{R} + 1}.$$

Ainsi, pour avoir une idée de l'approximation de la mesure, il faut connaître, au moins d'une manière approchée, la valeur du rapport $\frac{r}{R}$. La méthode supposant qu'on connaît r, il reste à évaluer R. Cette évaluation peut se faire assez facilement, lorsque les point A et A′ partagent le réseau en deux parties qui n'ont pas de communication entre elles, et qui sont constituées chacune par un conducteur simple ou par des conducteurs

en arc multiple, de résistances connues; mais il n'en est plus de même si ces deux parties sont reliées entre elles par d'autres conducteurs, et, dans ce dernier cas, on ne peut, en général, se rendre compte *a priori* de la valeur minima qu'il convient de donner à r pour que l'erreur ne dépasse pas une limite assignée.

Voici une méthode qui évite cet embarras, en fournissant une solution dans laquelle il n'entre aucune approximation.

Le galvanomètre, dont la résistance peut avoir une valeur quelconque, étant installé en dérivation, comme précédemment, entre les points A et A', les potentiels de ces points prennent des valeurs différentes de V et V', mais j'ai démontré que l'on a

$$V - V' = i(r + R). \tag{1}$$

Introduisons maintenant dans la branche du galvanomètre une résistance étalonnée a, et soit i' la nouvelle intensité du courant dérivé, déduite de la nouvelle déviation de l'aimant. On aura

$$V - V' = i'(a + r + R). \tag{2}$$

Éliminant $r + R$ entre ces deux relations, on obtient

$$V - V' = a\frac{ii'}{i - i'}.$$

Si l'on choisit a de manière que $i' = \frac{i}{2}$, la formule se simplifie et devient

$$V - V' = a \times i.$$

Cette formule est rigoureusement exacte, et, en vertu de la généralité du théorème dont elle se déduit, elle est applicable quelle que soit la complication du réseau.

Théoriquement, on peut donner à r une valeur quel-

conque. En pratique, cela est encore vrai, sauf lorsqu'il existe dans le réseau des forces électromotrices de réaction. Il convient alors, pour rendre leurs variations peu sensibles, de faire usage, de préférence, d'une dérivation de résistance considérable (*).

Remarque I. — On peut également, des équations (2) et (3), tirer la valeur de R. On trouve

$$R = a\frac{i'}{i - i'} - g,$$

et, dans le cas où $i' = \frac{i}{2}$,

$$R = a - g.$$

Il en résulte que le réseau donné peut, le cas échéant, être traité comme une source constante, par exemple comme une pile, dont les pôles sont en A et A', dont la force électromotrice est $a \times i$, et la résistance intérieure $a - g$.

Remarque II. — Toutes les méthodes connues pour la mesure de la force électromotrice et de la résistance intérieure d'une pile peuvent servir pour déterminer les quantités désignées par $V - V'$ et par R; c'est la conséquence de la formule $i = \frac{V - V'}{r + R}$, qui fait l'objet de mon théorème. Si j'ai développé spécialement l'une de ces méthodes, c'est pour indiquer la possibilité de parvenir, par une modification simple, à rendre rigoureusement exact un procédé *usuel* ne fournissant qu'un résultat approché.

THÉVENIN.

(*) A ce point de vue, l'emploi de l'électromètre présente un grand avantage, car il permet d'effectuer la mesure sans altérer en rien le régime des courants.

CHRONIQUE.

Société internationale des électriciens.

Ainsi que nous l'avons dit dans le dernier numéro des *Annales*, un comité a été chargé, sous la présidence de M. Georges Berger, d'élaborer les statuts et le règlement intérieur d'administration d'une Société internationale des électriciens, fondée sous la présidence d'honneur de M. le Ministre des postes et des télégraphes.

Cette sous-commission a terminé son travail et a distribué la note suivante à tous ceux que peuvent intéresser les progrès de la science électrique; cette note est accompagnée des statuts que nous reproduisons également :

« L'Exposition internationale d'électricité de Paris a établi entre les électriciens du monde entier, un rapprochement dont tous ont profité, dont tous continuent à se féliciter.

« L'avenir de la science qui prépare ou désigne les applications rationnelles de l'électricité, et la prospérité des industries qui réalisent ou vulgarisent ces applications, sont également intéressés à la consécration d'un lien vraiment durable entre les savants et les industriels, sans exclure les personnes nombreuses qui, par goût, se préoccupent des choses de l'électricité.

« La libre dissémination des efforts individuels est bonne pour créer l'émulation qui est, par excellence, le principe économique du progrès.

« La centralisation impartiale des connaissances divulguées, des conceptions théoriques et des résultats pratiques obtenus, est essentielle pour provoquer la discussion qui élucide la donnée des problèmes nouveaux, industriels ou scientifiques, et hâte la solution de ceux-ci. La création d'une *Société*

internationale des électriciens, composée d'hommes qui, avec la qualité de membres de cette Société, acceptent solidairement le devoir de faire abnégation de tout sentiment d'intérêt personnel dans leurs réunions, répond au besoin démontré d'une pareille centralisation.

« Quelques électriciens avaient pris l'habitude de se réunir dans un dîner mensuel. Ces réunions amicales devinrent nombreuses et, par la qualité des assistants, la dernière d'entre elles, celle du 21 juin 1883, eut le droit de s'ériger en *Comité d'initiative* chargé de décider les bases pratiques de la constitution d'une *Société définitive*. Elle entendit et approuva les rapports, sous forme de discours, de deux de ses membres, MM. G. Cabanellas et de Meritens, qui, dès le principe, avaient été chargés d'étudier la question. Les extraits suivants de ces rapports indiquent clairement le but poursuivi et font apprécier le caractère de l'institution.

« Tous, nous n'avons d'autre prétention, d'autre ambition, « que d'être les traducteurs, les serviteurs modestes et fidèles « d'une puissante pensée ambiante, qui s'impose avec une « autorité chaque jour grandissante, dans tous les milieux « où l'on pense, en France comme à l'Étranger. Dans tout « les pays civilisés, depuis le savant de profession, le philo « sophe qui analyse, jusqu'au simple observateur à peine « éclairé qui sent plus qu'il ne raisonne, partout enfin, la « conviction ferme existe, *que le règne de l'électricité avance « à grands pas*. Un pareil mouvement d'opinion ne peut errer, « il ne peut être que juste, car il réunit tous les caractères de « vérité et de certitude, tous les signes de vitalité, de succès: « il a pour lui la force et le droit.

. . . .

« Ainsi, l'association universelle dont il s'agit, peut se dé- « finir : Solidarisation, coordination des forces intellectuelles « et des opinions qui ont à actionner *le grand cycle à la fois « physique et moral*, qui est le domaine de l'électricité.

« C'est donc une organisation nouvelle, mais nullement « révolutionnaire dans l'inquiétante acception. Vous avez « voulu l'affirmer sans malendu possible : loin de vouloir « empiéter sur aucune des attributions des assemblées sa- « vantes, des administrations, des sociétés, des associations

« techniques spéciales, qui remplissent des fonctions si importantes et si utiles, vous leur avez demandé d'envoyer au « milieu de vous leurs représentants autorisés. L'Académie des « sciences, les chefs de service du ministère des télégraphes, « la Société d'encouragement, la Société des ingénieurs civils, « les Sociétés de physique, de chimie, de météorologie, de « géologie, de médecine, de chirurgie.... j'abrège l'énumération, ont répondu à votre appel; votre intention est de demander leur patronage, l'appui de leur science, l'aide personnelle de quelques-uns de leurs membres adhérant à vos « statuts, afin de vous rendre forts sans les affaiblir.

« Paris est le centre naturel d'une telle organisation (*)....

« — Toutes les sciences, la physique, la chimie, l'art de « l'ingénieur, l'agriculture, la médecine, sont représentées « dans chaque pays par une société qui reçoit les communications de ses membres, au sein de laquelle se discutent « les questions controversées et où sont réunis les travaux « des spécialistes. Un bulletin porte à la connaissance de tous « les nouvelles découvertes et les progrès réalisés. Mais, les « sciences que je viens de nommer ont un long passé derrière « elles. De nombreux et grands génies les ont illustrées et les « ont portées à un point de perfectionnement presque final. « L'électricité, elle, est à son aurore. En quelques années « elle a déjà ébloui le monde. Ses progrès marchent avec la « rapidité du courant électrique lui-même. Cette science a « des besoins que n'ont plus ses aînées. Elle réclame absolument les rapports les plus fréquents entre tous ceux qui la « cultivent. On n'a pas le temps d'attendre. Il faut être informé « sans délai. Nous pensons qu'il appartient à la France, qui a « fait la première Exposition internationale d'électricité, de « créer la *Société des électriciens* (**). »

La réunion du 21 juin était présidée par M. Maurice Lœwy, membre de l'Institut; il convient de reproduire la péroraison de l'importante allocution prononcée par le célèbre astronome :

(*) Rapport de M. Cabanellas.
(**) Rapport de M. de Meritens.

« Messieurs,

« Lorsqu'on étudie à travers les âges la marche incessante « de l'esprit humain dans la voie du progrès, on reconnaît « que l'œuvre accomplie à des époques successives est mar- « quée d'un cachet particulier.

« Ainsi, au XVIIe siècle, c'est la période des conceptions « théoriques les plus élevées; c'est alors qu'on enregistre « les immortelles découvertes des Pascal, des Newton, des « Leibnitz.

« Au XVIIIe siècle, l'esprit humain produit l'*Encyclopédie*, « et son activité se concentre principalement sur les grands « problèmes de réformes sociales.

« Au XIXe siècle, ce sont les sciences physiques qui brillent « du plus vif éclat; ce sont elles dont les découvertes et les « conquêtes merveilleuses ont si profondément modifié toutes « conditions de l'existence, en plaçant entre les mains de « l'homme deux outils puissants : la vapeur et l'électricité. »

Il convient également de citer les paroles suivantes prononcées par M. Marié-Davy, directeur de l'observatoire de Montsouris :

« J'applaudis d'autant plus à votre entreprise, que les idées « nouvelles les plus vraies ont bien souvent à lutter contre « l'inertie de certains esprits. Plus que jamais la diffusion « des connaissances techniques est désirable dans une société « qui en vit.

« Je m'associe sans réserve à l'esprit de désintéressement « personnel avec lequel vous voulez conduire votre œuvre.

« Vous ferez appel au concours des hommes de science qui « témoignent de l'intérêt qu'ils portent à l'électricité, sans « vous préoccuper d'autre chose que de l'honorabilité de leur « vie, des services rendus à la science en général et des ser- « vices qu'ils peuvent rendre à votre science de prédilection.

« Du choix que vous saurez faire parmi eux dépendront les « sympathies qui se grouperont autour de votre jeune Société « et les services qu'elle peut rendre au pays. »

M. Armengaud, président actuel de la chambre syndicale d'électricité, avait tenu, de son côté, à faire constater en quelques mots, combien l'élément scientifique est indispensable dans toute association ayant pour objectif le progrès des questions

d'électricité, même à un point de vue purement professionnel.

Le *Comité d'initiative* a terminé sa tâche en rédigeant les statuts et le règlement intérieur d'administration de la Société internationale des électriciens.

Ces statuts et ce règlement indiquent, par leur esprit, que la nouvelle Société ne sera la rivale d'aucune autre société scientifique. En spécialisant ses recherches et ses encouragements, elle n'entend amoindrir, à son profit, le rôle d'aucune des associations qui ont pour objet l'avancement de la science générale et de ses branches, les sciences plus concrètes. Elle prétend servir, d'une façon permanente, la cause que l'Exposition de 1881 a servie temporairement.

Les membres du *Comité d'initiative* seront les premiers sociétaires inscrits, et M. le Ministre des postes et télégraphes a bien voulu accepter, dès la première heure, la présidence d'honneur de la *Société internationale des électriciens.*

Tous les amis de la science, des hautes applications de celle-ci, de la vulgarisation des formules et des procédés qui contribuent à l'élévation intellectuelle et au bien-être universel, viendront apporter à la Société naissante l'appui de leur savoir, de leur compétence et de leur patronage sous toutes les formes.

Le siège de la *Société internationale des électriciens* est fixé, jusqu'à nouvel ordre, *au Ministère des Postes et des Télégraphes, 99, rue de Grenelle, à Paris.*

STATUTS

ARTICLE PREMIER. — Il est formé une *Société internationale des Électriciens*, ouverte, par voie d'adhésion, à tout Français ou Étranger qui, à un titre quelconque, général, scientifique, industriel, commercial, s'intéresse aux progrès de l'électricité théorique ou appliquée.

Le siège de la Société est à Paris.

ART. 2. — La *Société internationale des Électriciens* a pour but :

1° De centraliser, pour leur étude et leurs discussions, les renseignements et les documents concernant les progrès de l'électricité ;

2° De favoriser la vulgarisation et le développement de l'électricité par tous les moyens. A cet effet, elle exerce son action par des réunions, des conférences, des publications, des dons en instruments ou en argent,

aux personnes travaillant à des recherches ou entreprises scientifiques qu'elle aurait provoquées ou approuvées ;

3° D'établir et d'entretenir des relations suivies et de solidarité entre les divers membres, français ou étrangers, de la Société.

Art. 3.— La Société s'interdit toute ingérence intéressée dans une entreprise industrielle ou commerciale quelconque.

Art. 4. — La Société se compose :

De *membres honoraires;*

De *membres titulaires;*

De *membres fondateurs.*

Les membres honoraires sont ceux qui, par leur mérite reconnu ou les services qu'ils ont rendus à la science ou, en particulier à la Société, sont admis à jouir de ce titre distinctif.

Les membres titulaires sont ceux qui adhèrent sans réserve aux présents statuts et au règlement intérieur d'administration de la Société.

Les membres fondateurs sont :

1° Les membres titulaires qui auront adhéré avant le 15 octobre 1883;

2° Les membres titulaires qui, avant le 15 octobre 1884, deviendront *donateurs* dans les conditions indiquées par le règlement intérieur d'administration.

Art. 5. — Pour devenir membre de la Société, à l'un des titres spécifiés dans l'article précédent, il faut être présenté par deux membres titulaires.

La liste des candidats ainsi présentés, est proposée par le *comité* institué conformément aux termes de l'article 6 des présents statuts, à la plus *prochaine séance ordinaire* de la Société.

Art. 6. — La Société est administrée par un *comité* composé de 24 membres élus par l'Assemblée générale et rééligibles.

Le bureau du comité est formé de :

Un président;

Deux vice-présidents;

Deux secrétaires ;

Deux trésoriers-archivistes.

Le président est élu pour un an.

Les vice-présidents, les secrétaires, les trésoriers-archivistes et les membres sont rééligibles, chaque année par moitié.

Le *comité* est chargé de veiller à l'exécution des décisions de l'Assemblée générale qu'il représente pour la gestion des fonds de la Société; il examine et prépare les demandes d'admission ; il autorise et organise les conférences, les réunions techniques, les publications et provoque au besoin la formation de congrès scientifiques.

Art. 7. — Une *Assemblée générale* ordinaire des membres de la Société a lieu, une fois par an, dans les conditions déterminées par le règlement intérieur d'administration.

L'*Assemblée générale* est présidée par le président ou l'un des vice-présidents du *comité.*

Art. 8. — Des *réunions ordinaires* mensuelles ont lieu sur convocation du comité, conformément aux prescriptions du règlement d'administration.

Une session générale des membres français et étrangers de la Société peut avoir lieu à l'époque de la réunion de l'Assemblée générale.

Art. 9. — Le fonds social de la *Société internationale des Électriciens* se compose :

1° Des sommes versées par les donateurs;

2° Des sommes provenant des rachats des cotisations annuelles, dans les conditions déterminées par le règlement intérieur d'administration;

3° Des dons et legs que la Société pourra être appelée à recueillir lorsqu'elle aura été reconnue d'utilité publique.

Les fonds disponibles affectés aux dépenses courantes, se composent :

1° Des intérêts de placement du fonds social ;

2° Des cotisations annuelles ;

3° Des sommes qui pourront être perçues, en cours d'exercice, pour un but immédiat et déterminé.

Les sommes composant le fonds social ne peuvent être employées qu'en immeubles, en rentes sur l'État français, en actions de la Banque de France, en obligations de chemins de fer garanties par l'État.

Art. 10. — La dissolution de la Société peut être prononcée par l'Assemblée générale, conformément aux prescriptions du règlement intérieur d'administration.

Art. 11. — Les présents statuts peuvent être modifiés par décision de l'Assemblée générale, dans les conditions indiquées par le règlement intérieur d'administration.

RÈGLEMENT INTÉRIEUR D'ADMINISTRATION

TITRE I. — Admissions. — Cotisations.

Article premier. — Toute admission d'un membre français ou étranger a lieu conformément à l'article 5 des statuts de la Société.

Art. 2. — La cotisation annuelle des *membres titulaires* est fixée à *vingt* francs.

Le paiement de la 1re cotisation annuelle doit être effectué par tout membre titulaire immédiatement après son admission. La cotisation de l'année en cours est due, quelle que soit la date de l'admission.

Le paiement des cotisations annuelles suivantes sera effectué, pour l'exercice en cours, du 1er janvier au 30 juin.

Tout membre titulaire qui n'aura pas versé sa cotisation annuelle dans e délai sus-indiqué, cessera de recevoir les communications de la Société. Tout membre titulaire qui n'aurait pas payé dans les six mois qui suivront ce délai, sera considéré comme ne faisant plus partie de la Société.

Toute démission donnée ne sera valable qu'après acquittement des cotisations dues; sinon, la radiation sera prononcée.

Art. 3. — Tout membre titulaire pourra se libérer de ses cotisations annuelles en versant une somme de *deux cent cinquante* francs, payable soit en une fois, soit en deux versements de 125 francs chacun, qui ne devront pas être espacés de plus de douze mois.

Les quittances seront détachées d'un registre à souches et signées par l'un des trésoriers-archivistes.

Art. 4. — Toute personne qui versera une somme de 500 francs, au minimum, recevra la qualité de *donateur*.

La qualité de *donateur* ne dispense pas les membres titulaires du paiement de la cotisation annuelle.

TITRE II. — Comité.

Art. 5. — Tous les membres titulaires et fondateurs de la Société sont éligibles comme membres du *comité*; les deux tiers de ceux-ci devront résider à Paris ou dans le département de la Seine.

Tous les membres titulaires et fondateurs de la Société ont le droit de voter directement ou par correspondance, pour la nomination des membres du comité.

Les bulletins de vote par correspondance devront être parvenus au siège de la Société au plus tard la veille du jour de l'élection; ils devront être affranchis et recommandés. Ces bulletins, *signés*, seront envoyés à l'adresse de *M. le président de la Société internationale des Électriciens*. L'enveloppe devra porter, extérieurement et très lisiblement, la mention : *Bulletin de vote*.

Art. 6. — Des réunions préparatoires pour les élections du Comité pourront avoir lieu à Paris sur convocation du président.

Art. 7. — Le dépouillement du scrutin aura lieu immédiatement après le vote sous la surveillance d'un bureau composé de deux membres du comité et d'assesseurs scrutateurs.

Le résultat du vote sera proclamé immédiatement après le dépouillement du scrutin.

Art. 8. — La présence de la moitié des membres résidants du comité est nécessaire pour assurer la validité des délibérations.

Les procès-verbaux des séances du comité sont rédigés par un des secrétaires et transcrits sur un registre spécial folioté. Après son adoption, chaque procès-verbal est revêtu de la signature du président et de celle du secrétaire rédacteur.

Art. 9. — Le comité se réunit une fois par mois.

Il a le pouvoir de convoquer les membres de la Société en Assemblée générale *extraordinaire*, lorsqu'il le juge nécessaire.

TITRE III. — Assemblées générales.

Art. 10. — Une *Assemblée générale ordinaire* aura lieu, chaque année, en mars ou en avril.

Tous les membres de la Société ont le droit d'assister à l'Assemblée générale avec voix délibérative.

Art. 11. — Les délibérations de l'Assemblée générale ne sont valables que si *cent* membres, au moins, sont présents ou représentés.

Les décisions sont prises à la majorité relative; en cas de partage, la voix du président est prépondérante.

Art. 12. — Les membres de la Société qui désirent présenter une pro-

position à l'Assemblée générale doivent en adresser le texte au comité, avec les motifs à l'appui, avant le 1er mars.

L'ordre du jour de l'Assemblée générale est arrêté par le comité. Aucune question, en dehors de cet ordre du jour, ne peut être portée devant l'Assemblée générale.

Les exposés des comptes de la Société, les rapports administratifs et les comptes rendus techniques, ainsi que l'ordre du jour de l'Assemblée générale, sont déposés au secrétariat du comité, douze jours avant l'Assemblée générale, à la disposition des membres désireux de connaître ces documents.

TITRE IV. — Réunions ordinaires.

ART. 13. — Des réunions ordinaires périodiques auront lieu le *premier mercredi de chaque mois* à 8 h. 1/2 du soir - chaque année du 1er octobre au 1er juillet.

Tous les membres titulaires et tous les membres honoraires ont le droit d'assister à ces réunions et d'y faire des communications relatives à l'électricité.

Le *Bulletin de la Société* rendra compte des séances de ces réunions.

Ces réunions périodiques mensuelles sont indépendantes des conférences et des séances publiques d'expériences que le comité organisera, lorsqu'il le jugera utile, conformément à l'article 6 des statuts de la Société.

TITRE V. — Bulletin. — Publications.

ART. 14. — Un *Bulletin* périodique des travaux de la Société sera publié et envoyé à chaque membre.

Un sous-comité spécial, formé de membres du comité, sera chargé de surveiller la rédaction et la publication du *Bulletin*, dont il pourra autoriser l'échange avec d'autres publications scientifiques.

ART. 15. — Des abonnements au *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, pourront être consentis à des personnes étrangères à la Société.

Le prix de ces abonnements et celui du *Bulletin* pour la vente au numéro seront fixés par le comité.

TITRE VI. — Dissolution de la Société.—Modification des statuts.

ART. 16. — La question de dissolution ne pourra être soulevée isolément par un membre ; elle devra être formulée et motivée par une demande signée de cinquante sociétaires au moins. Cette demande sera soumise au comité qui en fera l'objet d'un rapport à l'Assemblée générale ordinaire.

ART. 17. — Les statuts de la Société peuvent être modifiés, sous toute réserve légale, par décision d'une Assemblée générale extraordinaire, sur une proposition motivée signée de dix sociétaires et préalablement soumise au comité.

L'Assemblée générale extraordinaire, convoquée à cet effet à un mois de date, devra réunir *cent* membres au moins présents ou représentés. La délibération aura lieu à la majorité des trois quarts des membres présents ou représentés.

COMITÉ D'INITIATIVE.

Liste arrêtée dans la réunion du 21 juin.

(Ordre alphabétique.)

, Inspecteur général des ponts
aussées, Directeur du service
al des phares et balises.
Professeur de physique.
i, Docteur.
AUD jeune, Ingénieur civil, Pré-
t de la chambre syndicale d'é-
cité.
AL (D'), Directeur du laboratoire
ysique biologique au Collège de
e.
AU, Administrateur de la Société
ables électriques.
, Secrétaire de la Société des in-
urs télégraphistes anglais.
Répétiteur à l'Ecole polytech-
.
, Ingénieur électricien, construc-
le phares électriques.
Directeur au ministère des postes
légraphes
(E.), Ingénieur des télégraphes.
(Georges), Commissaire général
Exposition internationale d'élec-
é de 1881, administrateur délégué
maison Bréguet.
, Directeur au Ministère des pos-
télégraphes.
N (A), Ingénieur du service tech-
de la Société des téléphones.
ND, Secrétaire perpétuel de l'A-
mie des sciences.
R, Inspecteur général des télé-
hes.
L, Ingénieur de la Société Siemens.
PS, Ingénieur des télégraphes.
E (DE LA), Administrateur des
s et télégraphes.
UZE, Professeur de physique.
C, Inspecteur général au Ministère
postes et télégraphes.
ET, Membre de l'Institut.
LLAS (G.), ancien Officier de ma-
, Ingénieur électricien.
Directeur-Ingénieur des télégra-
.
TIER (J.), Ingénieur, Construc-
d'instruments de précision.
NGA, Ingénieur, Directeur de la
nique industrielle.

MM.

CAUVET, Directeur des études à l'Ecole centrale.

CHAUVASSAIGNES, Ingénieur des télégraphes.

CLAMOND, Ingénieur électricien.

CLÉRAC, Ingénieur des télégraphes.

COCHERY (ad.), Député, Ministre des postes et télégraphes.

COLLIGNON, Inspecteur de l'Ecole des ponts et chaussées.

COULANGES (FUSTEL DE), Directeur de l'Ecole Normale supérieure.

DARCQ, Ingénieur des télégraphes.

DAUBRÉE, Membre de l'Institut, Directeur de l'Ecole des Mines.

DENAYROUSE (L.), Ingénieur civil, répétiteur à l'Ecole polytechnique.

DOUBET (comte de), Sénateur.

DUBREUIL (L.), Président de la Société nationale des architectes.

DUCRÉTET, Ingénieur électricien.

DUMAS (J.-B.), Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Président de la Société d'Encouragement.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur électricien.

ESCHBAECHER, Chef de bureau au Ministère des postes et télégraphes.

FAYE, Membre de l'Institut.

FÉLIX (C.), Ingénieur électricien.

FIGUIER (Louis), Publiciste scientifique.

FONTAINE (H.), Administrateur de la Société Gramme.

FRIEDEL, Membre de l'Institut.

FRIBOURG, Directeur du personnel au Ministère des postes et télégraphes.

GAIFFE, Ingénieur électricien, Constructeur.

GARIEL, Secrétaire de l'Association française pour l'avancement des sciences.

GARNIER, Inspecteur principal des télégraphes.

GAVARRET (Dr), Professeur de physique à l'Académie de médecine.

GODRON, Ingénieur en chef des constructions navales.

HALLEZ D'ARROS (comte), Fondateur du journal *l'Electricité.*

HOSPITALIER, Ingénieur civil, Rédacteur en chef de *l'Electricien.*

MM.
Jablochkoff, Ingénieur électricien.
Jamin, Membre de l'Institut.
Janssen, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Meudon.
Joubert, Secrétaire général de la Société de physique.
Labry (de), Ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Laing (William), Ingénieur électricien.
Lan, Directeur de la Société lyonnaise de constructions électriques.
Lapparent (de), Ingénieur des mines.
Lartigues, Directeur de la Société des téléphones.
Lattès, Ingénieur de la Société lyonnaise.
Laussédat, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.
Lauth, Président de la Société de chimie.
Leblanc, Ingénieur du chemin de fer de l'Est.
Lemonnier, Ingénieur-constructeur.
Leroux, Examinateur à l'Ecole polytechnique.
Lesseps (F. de), Membre de l'Institut.
Lévy (Maurice), Professeur au Collège de France.
Lipman (G.), Maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
Lœwy (Maurice), Membre de l'Institut.
Lucas (F.), Ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Maiche (L.), Ingénieur électricien.
Marché, Président de la Société des ingénieurs civils.
Marey, Membre de l'Institut.
Marié Davy, Directeur de l'Observatoire de Montsouris.
Mascart, Professeur au Collège de France.
Meaux (de), Chef de bureau au Ministère des postes et télégraphes.
Ménier (H.), Fabricant de câbles électriques.
Mercadier, Directeur des études à l'Ecole polytechnique.
Méritens (de), Ingénieur, Constructeur électricien.
Moigno (abbé), Fondateur du *Cosmos-les-Mondes*.

MM.
Moncel (comte Th. du), Membre de l'Institut.
Mourlon (Ch.), Constructeur électricien.
Nansouty (Max. de), Secrétaire-Gérant du *Génie civil*.
Napoli, Ingénieur, Chef du laboratoire d'essais au chemin de fer de l'Est.
Onimus, Docteur.
Parran, Président de la Société de géologie.
Parville (H. de), Publiciste scientifique.
Piétra-Santa (de), Directeur-Fondateur du *Journal d'hygiène*.
Planté (G.), Electricien.
Postel-Vinay, Constructeur électricien.
Potier, Président de la Société française de physique.
Raynaud (J.), Ingénieur électricien.
Regray, Ingénieur en chef du chemin de fer de l'Est.
Raymond, Député, Président de la Société des anciens élèves de l'Ecole Centrale.
Robin (Ch.), Membre de l'Institut.
Sabourain (A.), Rédacteur de l'*Électricité*, Secrétaire de la Commission d'initiative.
Salus, Chef de bureau au Ministère des postes et télégraphes.
Sciama (Gaston), Directeur des ateliers de la maison Brégnet.
Sébert, Colonel d'artillerie, Directeur du laboratoire central de la marine.
Serrin (Victor), Ingénieur électricien.
Servier, Président de la Société technique de l'industrie du gaz.
Simon (Maurice), Agent général de la compagnie Swan.
Tissandier (G.), Directeur de la *Nature*.
Tommasi (Donato), Docteur, Chimiste électricien.
Tresca, Membre de l'Institut.
Trèves, Capitaine de vaisseau.
Tripier, Docteur.
Trotin, Directeur-Ingénieur des télégraphes.
Trouvé (G.), Constructeur électricien.
Valette (abbé H.), Directeur du *Cosmos-les-Mondes*.

L'Exposition internationale d'électricité de Vienne.

L'Exposition internationale d'électricité de Vienne dont l'ouverture avait, d'abord, été fixée au 1er août, a été inaugurée le 16 de ce mois seulement. Comme dans presque toutes les occasions de ce genre, les installations n'étaient pas terminées à la date fixée et, malgré l'activité fébrile déployée dans les derniers moments, la nécessité d'un renvoi de quelques jours s'imposait impérieusement.

La cérémonie de l'inauguration a, d'ailleurs, été très brillante. L'ouverture a été faite solennellement, au nom de l'Empereur et en présence des membres de la famille impériale, du corps diplomatique et d'un nombreux cortège de hauts fonctionnaires et d'éminentes personnalités, par le Prince Impérial l'Archiduc Rodolphe, sous le haut patronnage de qui l'entreprise avait été placée dès le début.

A son arrivée au Palais de l'Exposition, Son Altesse I. et R. a été reçue par par le Comité de l'Exposition, et le Président, M. d'Erlanger, lui a exprimé les vœux du Comité et sa reconnaissance pour le bienveillant intérêt qu'Elle avait daigné témoigner à la grande œuvre qui s'ouvrait aujourd'hui. En réponse à cette allocution, l'Archiduc Rodolphe, dans un discours qui a soulevé de nombreux applaudissements, a fait ressortir le rôle important que remplissait déjà l'électricité et celui, plus considérable encore, qui lui était réservé dans l'avenir. Il a ajouté que ce n'était point un hasard si Vienne était appelée à accueillir dans ses murs hospitaliers la troisième, mais aussi la plus grande des expositions d'électricité et, à cette occasion, il a rapporté les inventions sorties de Vienne et qui ont fait époque dans le monde scientifique comme dans le monde industriel. Cette Exposition, a-t-il dit, fait honneur à l'Empire et à la ville de Vienne, et elle resserrera les liens qui rattachent la monarchie austro-hongroise aux nations amies qui ont bien voulu, dans cette circonstance, lui apporter leur précieuse coopération. Enfin, au nom de l'Empereur, il a déclaré l'Exposition ouverte.

En parcourant ensuite l'Exposition, l'Archiduc Rodolphe

a exprimé, à différentes reprises, au Président du Comit toute sa satisfaction de la manière dont celui-ci avait s accomplir la tâche difficile dont il était chargé et, en dép de quelques lacunes partielles, inséparables d'un premi début, il a pu constater que l'œuvre présentait un ensemb grandiose, digne de la belle capitale où elle était établie.

Les détails suivants qui sont empruntés à une correspo dance adressée à la *Lumière électrique*, le 12 de ce moi c'est-à-dire quatre jours seulement avant l'ouverture de l'E position, permettront à nos lecteurs, en attendant un comp rendu plus complet, de se faire une première idée de l'impo tance de l'entreprise et des attraits qu'elle présente pour to les électriciens.

« L'aspect de l'Exposition a complètement changé : des t bles, des vitrines s'élèvent de tous côtés et sont garnies d'a pareils; aux murs pendent des tableaux, des enseignes, d drapeaux, des étendards, des écussons, etc. Une grande par des lampes sont placées dans la « Rundgalerie », dans l galeries des machines et dans la deuxième galerie supérieu Les crochets pour les cent lampes de la première galerie so fixés et les communications prêtes. Il n'y a plus qu'à acc cher les lampes.

« Hier, on a commencé ce travail qui sera bientôt termi

« Les lustres à lampes à incandescence sont presque to installés dans les petits salons et dans le restaurant.

« Les machines et les chaudières sont montées : plusie fonctionnent déjà. Divers moteurs à gaz de deux à quara chevaux sont prêts à marcher.

« Les dynamos Edison, Weston, Schwerd, Schuckert, S mens, Ganz et Cie, Bürgin, E.-R. Crompton, Brush, Egger Kremenezky, Gramme et quelques Jüngersen sont en place.

« La plus grande partie est en marche.

« Les petits jardins sont terminés et font assez bon ef La canalisation de la cascade est faite, ainsi que la carca en bois qu'on garnit d'écailles en zinc. Le charmant pavill oriental a reçu sa dernière couche de peinture, on y insta des lampes à incandescence. A côté, se trouvent l'entrée d théâtre et celle de la galerie des salons qui sont toutes de très réussies, et l'exposition de lustres et candélabres de

triques de la maison Wolf et Cie de Vienne. C'est une des parties de la Rotonde les plus intéressantes au point de vue de la décoration.

« Le pavillon de l'Empereur fera très bien : on pose les tentures.

« Devant le pavillon s'élèvent deux jolis monuments, l'un en tôles et fils de cuivre et laiton, l'autre en tubes des mêmes matières : produits des fabriques de M. Lange de Saxe.

« La Turquie a un ravissant pavillon où elle expose ses appareils télégraphiques, construits dans ses propres ateliers, Le pavillon des télégraphes autrichiens est terminé.

« Enfin, partout des postes téléphoniques, et des sonneries dont le carillon accompagné par les cloches des block-systèmes se mêle maintenant au bruit incessant des marteaux.

« Dans le Prater, des poteaux sont installés pour recevoir des lampes destinées à éclairer l'allée principale. Au-dessus du « Sud-Portal », on a disposé deux puissants réflecteurs de Egger et Kremenezky, qui éclaireront également le parc. La façade sud, où est l'entrée principale, sera éclairée par des lampes à incandescence et à arc.

« De l'autre côté du palais on a établi, près du moulin, un petit chemin de fer funiculaire qui transportera directement le charbon du « Lager-Haus » — où arriveront les wagons chargés, — jusque dans une des cours intérieures du palais où sont les chaudières, en passant au-dessus de la galerie des machines (Nord G). Les petits wagons arriveront par une pente rapide jusqu'au haut d'une tour en bois élevée dans la cour, et seront descendus à l'aide d'un treuil mis en mouvement par une dynamo placée sur la tour.

« Les communications téléphoniques avec l'Opéra sont terminées, et comprennent sept fils de cuivre.

« Bref, depuis une dizaine de jours on a travaillé énormément. Il y a encore cinq jours avant l'ouverture : on sera prêt. Il y aura bien quelques vides, mais quelle est l'Exposition où l'on n'a pas travaillé quinze jours encore après l'ouverture? On serait même bien plus avancé si bon nombre de caisses n'étaient pas allées s'égarer en Turquie. Il a fallu s'informer, télégraphier, réexpédier, d'où un retard considérable.

« Des expériences de téléphonie fort intéressantes ont eu

lieu pendant ces derniers jours. Il s'agissait d'essayer les nouveaux transmetteurs verticaux d'Arsonval. M. Strauss est venu avec son orchestre à l'Exposition, et bien qu'on ait dû placer les musiciens dans une chambre trop petite et où il se produisait des échos, les appareils, presque sans réglage, ont donné les meilleurs résultats : clarté et intensité. On a ensuite rapproché le transmetteur et placé les deux récepteurs (modèle d'Arsonval) sur la table, la membrane en bas. La table s'est mise à jouer comme une grande boîte à musique, et avec assez de netteté et d'intensité pour qu'on ait pu distinguer de tous les points de la chambre les différents timbres des instruments.

« Le 9, les premières auditions téléphoniques de l'Opéra out eu lieu. Les appareils appartiennent à la « Wiener Privat-Telegraphen-Gesellschaft » qui a la concession de toutes les communications télégraphiques urbaines. Les appareils, sans valoir les Ader, fonctionnent néanmoins très bien.

« Le final du deuxième acte d'*Aïda* avec la Materna, la grande chanteuse allemande, a soulevé parmi nous sept (il y a sept paires de téléphones) de sincères applaudissements. C'est assez dire que les sons étaient reproduits avec pureté.

« Le même soir la Rotonde était éclairée par cinq gros régulateurs Schwerd, placés à la deuxième galerie supérieure. Sans être brillant, cet éclairage était déjà plus que suffisant, et donnait une idée de ce que sera l'éclairage quand toutes les lampes brûleront.

« Le restaurant est éclairé tous les soirs par les lampes Edison.

« Devant, dans la cour, où l'on fera de la musique, on pose des Jablochkoff.

« A propos d'éclairage, on a fait avec les accumulateurs Planté une intéressante expérience : on a allumé de petites lampes Swan avec des éléments venus tout chargés de Paris. Une demi-heure après avoir été remplis d'eau acidulée, ils avaient repris leur force; il y avait près d'un mois que ces accumulateurs avaient été expédiés.

« Parmi les attraits de l'exposition on nous signale encore les expériences du docteur Vinko Dvorak d'Agram avec ses appareils électro-acoustiques, celles de Paul la Cour de Copen-

hague avec la roue phonique, celles de Rychnowsky de Lemberg avec des appareils tout à fait nouveaux et très curieux où, par exemple, on obtient un courant assez intense par la simple compression de l'eau.

« On espère que tous ces appareils fonctionneront déjà pour l'ouverture. »

(*Journal télégraphique international de Berne.*)

Galvanomètre universel sans oscillation, pour la mesure rapide des courants de grande intensité ou de haute tension.

Note de M. Ducretet.

La boussole des tangentes dont il s'agit offre l'avantage de donner une mesure presque instantanée de l'intensité des courants. Cette propriété précieuse est obtenue par la suppression des oscillations de l'aiguille, qui est complètement immergée dans un liquide transparent enfermé dans une boîte à compensation, comme on l'a déjà fait pour les boussoles marines. Cette disposition, qui peut être adaptée à toute espèce de galvanomètre, amortit les oscillations bien plus vite que ne font les étouffoirs en cuivre ou les aimants puissants quelquefois employés; et elle laisse à l'aiguille toute sa sensibilité.

Il suit de là : 1° que, dans l'étude des piles, on peut obtenir la valeur de l'intensité du courant ou de la force électromotrice de la pile, avant que les phénomènes de polarisation se soient produits, bien qu'ils se produisent très rapidement lorsque la pile est fermée par un circuit de résistance nulle, comme c'est le cas pour la mesure des intensités ; 2° qu'on peut suivre pas à pas toutes les variations du courant, faibles ou fortes, lentes ou brusques, observation précieuse pour l'étude des courants des piles et surtout de ceux des machines magnéto-électriques.

L'aiguille aimantée, de très petites dimensions, est portée par une chape en agate sur une pointe très fine non oxydable; elle se prolonge par une tige très déliée en aluminium qui

parcourt les divisions du cadran. Le fond de la boîte est formé par un miroir platiné, l'index de l'aiguille s'y réfléchit et la superposition de l'index à son image écarte toute erreur de parallaxe.

La boîte de l'aiguille est montée à centre à l'extrémité d'une règle graduée, mobile elle-même sur un axe vertical servant à l'orientation de tout le système. Un aimant puissant, faisant fonction d'aimant directeur, peut être fixé au-dessous de l'aiguille de la boussole ; son action s'ajoute à l'action directrice de la terre et constitue un champ magnétique assez intense, qui rend peu sensibles les variations extérieures. Le cadre multiplicateur circulaire est mobile le long de la règle et peut être amené rapidement à une distance quelconque de l'aiguille à l'aide d'une crémaillère et d'un bouton. Grâce à cette disposition, la boussole peut être employée à la mesure soit de l'intensité des courants, soit de la force électromotrice des piles, dans des limites très étendues, de $\frac{1}{10}$ d'ampère à 400 ampères environ pour l'intensité, de $\frac{1}{10}$ de volt jusqu'à 700 volts et au delà pour la force électromotrice.

Dans le premier cas (ampèremètre), on fait passer le courant dans le cadre même du multiplicateur, dont la résistance est inappréciable. On détermine, par étalonnage, une table de correspondance entre les degrés du cadran, suivant les diverses positions du cadre sur la règle, et la valeur en ampères du courant qui le traverse. L'expérience montre qu'il y a proportionnalité jusqu'à 35° entre les intensités et les déviations.

Lorsque la boussole est employée comme galvanomètre de force électromotrice ou voltmètre, on fait passer le courant dans un fil de maillechort très fin, enroulé sur la gorge du cadre et représentant une résistance très grande, 5490 ohms. L'intensité du courant est alors très sensiblement proportionnelle à la force électromotrice. On étalonne l'appareil en volts pour les diverses positions du cadre. La proportionnalité entre les forces électromotrices et les degrés de déviation se soutient encore jusqu'à 35° environ.

On doit vérifier fréquemment l'étalonnage de l'appareil, qui

peut varier par suite des variations de la composante horizontale terrestre et de celles de l'aimant directeur. Cette vérification se fait en lançant dans les circuits le courant d'un grand élément Daniell dont la force électromotrice est connue et dont on détermine la résistance.

(*Comptes rendus.*)

Sur la mesure des résistances en valeur absolue.

Par F. Kohlrausch (*).

Parmi les méthodes proposées par W. Weber pour la détermination des résistances en valeur absolue, l'une des plus compliquées et des moins satisfaisantes consiste à faire les opérations suivantes : On envoie dans le circuit d'un galvanomètre quelconque le courant induit par le déplacement d'une bobine en présence de l'aimant terrestre, et on note la déviation de l'aiguille; ensuite, on fait osciller cette aiguille sous l'influence de la terre et on mesure le décrément logarithmique des oscillations. Enfin, on est obligé d'exécuter des déterminations accessoires pour connaître l'intensité H du magnétisme horizontal terrestre et le moment d'inertie K de l'aiguille du galvanomètre.

Or, M. Kohlrausch propose divers amendements à cette méthode de Weber : il propose de remplacer les déterminations accessoires dont nous venons de parler par d'autres équivalentes. Il fait observer que, au lieu de mesurer K, on peut mesurer le produit MH, en appelant M le moment magnétique de l'aiguille. On peut encore introduire dans la formule de Weber, à la place de K, le rapport $\frac{M}{H}$ que l'on obtient aisément au moyen de la méthode inventée par Gauss.

Enfin, on peut obtenir la constante du galvanomètre employé en le comparant à un galvanomètre de constante déjà

(*) *Annales de Wiedemann*, n° 9, 1883.

connue. Ces diverses déterminations se font avec plus de précision que celle de K. M. Kohlrausch ne parait pas d'ailleurs se faire d'illusions sur les mérites de la méthode proposée par Weber. (*La Lumière électrique.*)

Sur la polarisation des électrodes produite par des courants alternatifs (*).

Par A. Oberbeck.

On sait qu'une électrode métallique qui se polarise, peut être assimilée à un condensateur qui se charge. Au point de vue des propriétés électriques, sinon du mécanisme antérieur, l'assimilation est complète. Si l'on appelle V la différence de potentiel acquise par suite de la polarisation, Q la quantité d'électricité nécessaire pour produire cette différence de potentiel V, on peut poser

$$Q = CV$$

Le coefficient C s'appelle la capacité de polarisation de l'électrode, il est donc défini de la même manière que la capacité d'un condensateur.

M. Oberbeck s'est proposé de mesurer cette capacité en employant comme courant de charge des courants alternatifs à courte période. Dans ce cas le sens de la charge acquise par le condensateur varie de sens périodiquement.

L'auteur pense que l'emploi de charges alternativement de sens contraires diminue les causes d'erreur qui peuvent provenir d'une charge longtemps maintenue dans le même sens.

A cet effet M. Oberbeck fait tourner un petit aimant m avec une vitesse d'environ 40 tours par seconde devant une bobine fixe B. Il se produit donc des courants induits i qui changent de sens environ 80 fois par seconde. On envoie ces courants i dans un voltamètre constitué par des électrodes du métal à étudier, électrodes plongeant dans de l'eau salée. Les courants i étant alternatifs, on ne peut les étudier qu'au moyen de

(*) *Annales de Wiedemann*, n° 8, 1883.

l'électro-dynamomètre. L'originalité du travail de M. Oberbeck réside surtout dans la manière dont il se sert de l'électro-dynamètre. M. Oberbeck démontre d'abord que cet instrument ne dévie pas si on fait passer dans la bobine fixe une série de courants sinusoïdaux i, et dans la bobine mobile une série de courants sinusoïdaux i' de même période que les premiers, à condition qu'il y ait entre les courants i et i' une différence de phase égale à $\frac{1}{2}$ et par conséquent telle que les uns s'annulent quand les autres sont maximum. On voit en effet facilement que l'intégrale

$$\int ii'dt$$

correspond à un nombre entier de périodes.

L'auteur fait passer les courants i, qui traversent les voltamètres qu'il étudie, à travers la bobine fixe de l'électro-dynamomètre, il produit les courants i', qui traversent la bobine mobile, en faisant agir le petit aimant m sur une bobine induite B' qui fait un angle égal à $\frac{\pi}{2}$ avec la bobine induite B. Si le circuit i ne contenait pas de voltamètre, on pourrait obtenir la différence de phase égale à $\frac{\pi}{2}$ et la déviation nulle de l'électro-dynamomètre. Mais en introduisant dans un circuit un voltamètre polarisable, on change la phase du courant i, et par conséquent on obtient une déviation de l'électro-dynamomètre. Pour ramener cette déviation à zéro, il suffit d'introduire dans le circuit i une résistance x convenablement choisie.

M. Oberbeck montre que l'équation d'équilibre de l'électro-dynamomètre permet de trouver la capacité de polarisation du voltamètre en fonction de x.

On obtient ainsi une valeur moyenne de la capacité de polarisation ; et de plus, les deux électrodes se polarisent à la fois, les résultats obtenus se rapportent à la fois à ces deux polarisations inverses, que le dispositif de M. Oberbeck ne permet pas de séparer.

L'auteur trouve ainsi que la capacité de polarisation de la plupart des métaux, de ceux surtout qui sont oxydables, varie

pendant les premiers temps de l'expérience. Le cuivre s'oxyde notablement par l'effet du courant. La capacité moyenne de polarisation par millimètre carré tend vers les valeurs suivantes dans l'eau salée :

Argent	0,60	microfarad
Or	0,30	—
Palladium	0,27	—
Platine	0,18	—
Aluminium	0,05	—

Les résultats numériques sont suffisamment d'accord avec ceux obtenus par M. Kohlrausch et par M. Blondlot dans le cas du platine; l'auteur ne paraît pas connaître l'excellent travail de ce dernier physicien sur la capacité de polarisation (*).

M. Oberbeck calcule l'épaisseur que devrait avoir un condensateur à lame d'air qui aurait la même capacité par unité de surface. Il trouve les nombres suivants :

Argent	147×10^{-10}	millimètres
Or	295×10^{-10}	—
Palladium	327×10^{-10}	—
Platine	491×10^{-10}	—
Aluminium	1768×10^{-10}	—

(*La Lumière électrique.*)

L'application de l'électricité dans les houillères.

Par M. Alan C. Bagot, de Londres.

L'électricité est appelée à rendre dans l'exploitation des mines de charbon, les services les plus variés, tels que la transmission des signaux, l'éclairage et le transport ou l'emmagasinement de la force, tant à la surface qu'au fond des puits et poternes. Le moyen de communication jusqu'ici adopté entre l'intérieur et l'extérieur de la mine consiste en un fil partant du fonds du puits et aboutissant à la surface;

(*) Voir la *Lumière électrique*, numéro du 25 juin 1881.

en tirant le fil, dont l'extrémité est reliée à un marteau, ce dernier frappe sur un timbre en fer. C'est par là que le chargeur de bennes au fond du puits avertit l'homme chargé de les recevoir à l'ouverture, ainsi que le mécanicien. Ce moyen primitif est sujet à bien des dérangements, à des ruptures, et occasionne des retards dans les manœuvres et, bien souvent, des erreurs dans l'interprétation des signaux.

Aussi s'est-on efforcé de le remplacer par l'électricité, et c'est surtout en Angleterre et en Amérique que nous voyons se développer ce nouveau procédé, qui se généralise chaque jour davantage.

La première question à trancher était celle des fils à employer comme conducteurs électriques. Fallait-il employer le cuivre ou le fer, isolé ou non? Après une série d'expériences qui ont été faites dans diverses houillères, on a enfin adopté les fils de fer télégraphiques galvanisés nº 4 (6 millimètres de diamètre) pour l'intérieur, et les fils nº 8 (4 millimètres de diamètre) pour la surface. Le fil du puits, protégé par des blocs de bois qui l'enveloppent, est suspendu par une chaîne et porte, à chacune de ses deux extrémités, un poids compensateur de 40 kilogrammes environ.

Quant au fil de la surface, il est installé comme celui des lignes télégraphiques aériennes ordinaires.

Les fils de cuivre des piles et autres appareils ont $1^{mm},6$ de diamètre; ils sont recouverts de gutta-percha, entourés d'un ruban et goudronnés.

Les piles le plus ordinairement employées sont les piles Leclanché; les vases reçoivent, intérieurement et extérieurement, une couche de paraffine à partir du fond jusqu'au niveau du liquide excitateur pour empêcher les efflorescences et les évaporations; on verse ensuite un peu d'huile ordinaire pour mettre la surface du liquide à l'abri des poussières de charbon. Dans les puits humides, on accouple les piles en quantité pour avoir une tension plus faible et diminuer la déperdition d'électricité. Les dispositions adoptées pour la communication des signaux varient d'une mine à l'autre; il nous suffira d'en prendre une comme exemple pour arriver à notre but, qui est de constater l'utilité inconstestable de l'électricité dans de pareilles exploitations.

Un circuit de sonnerie est établi du fond du puits à l'ouverture et à la machine simultanément, et de l'ouverture au fond du puits seulement, ainsi qu'un circuit pour un cadran de 12 ordres du fond du puits à l'ouverture et à la machine, et de l'ouverture au cadran du fond du puits, en passant par le cadran de la machine. L'ouvrier qui reçoit le charbon à la sortie du puits, à l'aide du circuit de la sonnerie seulement, sonne deux fois et avertit le puits aussitôt qu'il a enlevé la benne pleine et l'a remplacé par une vide. Le chargeur dans le puits, avertit ainsi que le déchargeur à la sortie a terminé son opération, et ayant lui-même remplacé la benne vide par une pleine, sonne deux fois et avertit ainsi en même temps le déchargeur et le mécanicien ; le déchargeur est ainsi prévenu que la machine a reçu son signal de mise en marche.

Cette façon d'opérer est bien préférable et plus rapide que l'usage pratiqué jusqu'ici de faire avertir la machine par le déchargeur. Pour faire stopper, ce dernier a à sa disposition un circuit local de sonnerie le reliant à la machine; mais, dans tous les cas, sauf quand les ouvriers sont à l'abatage, le signal de mise en marche est donné par le chargeur seulement.

La transmission des ordres se fait par les cadrans dont nous avons parlé plus haut et à l'aide du courant des sonneries.

Le transmetteur est tout simplement un manipulateur permettant de fermer, pendant une certaine durée, le circuit qui est rouvert par l'intermédiaire d'un piston à air. Le signal transmis au récepteur est reproduit sur le cadran du transmetteur qui, seul, peut le changer. Le récepteur ne peut le toucher ni à son cadran, ni à celui de l'envoyeur, ce qui constitue un vrai bloc-système. Les récepteurs sont pourvus d'un échappement qui fait marcher un pignon sur le passage du courant, et l'armature de l'électro-aimant du récepteur par son mouvement met l'aiguille indicatrice au point voulu. La même disposition est appliquée au cadran du transmetteur. On peut ainsi transmettre 12 ordres en 10 secondes.

Par suite d'un perfectionnement récent, et pour laisser le chargeur et le déchargeur plus libres, on a adopté un trans-

metteur à mouvement d'horlogerie. Pour arrêter ce dernier, on adapte une cheville en contact avec le bouton d'un levier correspondant au zéro et indiquant *sécurité*. En ramenant en arrière le levier n° 0 et poussant le levier n° 5, le mouvement d'horlogerie marche, donne cinq contacts distincts, transmet cinq courants électriques d'une durée déterminée et met cinq fois le récepteur en action; l'ordre correspondant se trouve simultanément reproduit sur tous les cadrans du circuit. Le bouton du levier n° 5 arrête alors le mouvement d'horlogerie jusqu'à la transmission du prochain signal, avant lequel le levier n° 5 doit être ramené en arrière. Le cadran du mécanicien avertit ainsi ce dernier de ce qui se passe, et celui-ci ne marche qu'à coup sûr. Il sait ainsi ce qu'il fait, et on évite par là les erreurs qui peuvent se transmettre entre le puits et la surface. En cas de brouillard, alors que le mécanicien ne peut pas voir le déchargeur, ce dernier l'avertit par un sémaphore électrique qui se trouve dans la chambre des machines.

Sur le parcours même des wagonnets, on peut fermer le circuit en mettant en communication les fils d'aller et de retour et faire des signaux. On peut également protéger les plans inclinés, où les trains circulent, et qui servent également aux ouvriers par des indicateurs qui écartent tout danger en créant un véritable bloc-système. Les sections sont, dans ce cas, ainsi organisées : un électro-aimant est pourvu d'une armature pivotante, à l'extrémité de laquelle se trouve un bras de sémaphore; au passage d'un courant, l'armature est attirée, et le bras du sémaphore indique un *danger;* on indique la *voie libre* en poussant un levier qui met le signal à la position correspondante. On emploie pour les manœuvres les clefs Morse.

On ne saurait méconnaître l'utilité, nous dirons même la nécessité d'un pareil système de précautions, surtout lorsqu'on emploie l'air comprimé comme force motrice pour la traction des trains.

Une application de l'électricité consiste en un anémomètre indiquant la vitesse de l'air et ses variations dans les galeries de mines. Sans entrer dans la description de cet appareil, nous dirons qu'il se compose de deux parties : l'une, à palettes

tournantes, placée dans la voie de retour d'air ; l'autre (l'enregistreur) dans la chambre des machines, à la surface. Ces deux parties sont reliées par un fil télégraphique. L'enregistreur, grâce à un mouvement d'horlogerie, développe une bande de papier avec une vitesse donnée ; un circuit local est fermé chaque cinq minutes, et donne lieu alors à un point marqué sur le papier. Les palettes de l'appareil placé dans la mine sont enfermées dans une roue tournante, isolée de manière à donner un contact pour un nombre déterminé de révolutions, de façon qu'avec ce nombre de tours varie celui des fermetures du courant, qui se trouve ainsi enregistré à l'aide d'un appareil semblable à celui du circuit local dont nous venons de parler. Le nombre d'empreintes dans chaque intervalle de cinq minutes donne la vitesse moyenne de l'air, avec ses variations, et l'on a bien ainsi l'enregistrement automatique et continu de la vitesse de l'air à un moment quelconque.

Nous dirons enfin un mot d'une autre application assez curieuse de l'électricité dans les mines. Si l'on veut s'assurer du fonctionnement d'une machine d'épuisement placée au fond d'une galerie et suivre le mouvement des clapets, on n'a qu'à mettre un téléphone sur la boîte à clapets, en les séparant par une épaisse feuille d'amiante; le mécanicien a, de son côté, un récepteur téléphonique, avec lequel il peut entendre distinctement les battements des clapets.

Nous avons à examiner maintenant les services que l'électricité peut rendre pour l'éclairage. Il y a ici deux cas à considérer : l'éclairage à la surface, et l'éclairage dans l'intérieur de la mine. Pour le premier cas, l'avantage de l'électricité est incontestable; mais alors les lampes à incandescence sont insuffisantes et l'on doit employer les lampes à arc, alimentées par des dynamos à courant continu, à basse tension, à l'exclusion des dynamos à courant alternatif, à haute tension, qui offrent des dangers pour les ouvriers qu'on ne peut, malgré tous les avertissements, éloigner des fils de communication. La raison qui fait préférer les machines à basse tension à celles à haute tension, est qu'on réduit ainsi les déperditions d'électricité dans une atmosphère humide. Quant à l'intérieur de la mine, les lampes à incandescence rendent de

véritables services au fond des puits pour le travail du chargement des bennes et la manœuvre des wagonnets; mais il faut renoncer à leur emploi dans les galeries d'abatage, où la lampe de sûreté ordinaire est préférable, car elle permet de signaler le grisou, ce que ne peut faire la lampe électrique; sans compter d'autres inconvénients, tels que la rupture des fils ou des lampes, la chute d'un morceau du toit et la difficulté de maniement pour un ouvrier qui doit constamment déplacer sa lampe.

Tout au plus pourrait-on appliquer l'éclairage électrique aux travaux d'abatage devant un front d'une grande étendue, à l'aide de lampes alimentées par un accumulateur apporté sur place, après avoir été chargé à la surface, pour éviter les fils très nombreux. Encore faudrait-il, dans ce cas, des conditions de poids et de durée des lampes qui ne sont pas encore réalisées.

Reste à examiner la transmission électrique de la force. On ne peut songer à l'employer à l'intérieur des mines; il n'y aurait à la considérer que pour la surface de la mine. Dans ce cas, on n'y trouve aucun avantage, car les locomotives à air comprimé, ou la traction à vapeur par câbles, donnent des résultats économiques que l'électricité ne saurait atteindre. Ajoutons que l'air comprimé a encore le grand avantage de ventiler les mines après avoir donné de la force.

En résumé, l'application de l'électricité pour la transmission des signaux est très intéressante, et s'impose même aujourd'hui pour une exploitation d'une certaine importance. Elle est très avantageuse pour l'éclairage de la surface et des abords du fond du puits, pour l'enlèvement des charbons; mais on doit, en l'état actuel, la prohiber dans les galeries d'abatages, où elle ne peut rendre les mêmes services que la lampe de sûreté en usage. Il en est de même pour la transmission de force, où l'électricité ne peut aujourd'hui présenter aucun avantage.

Nous conclurons en disant que l'application de l'électricité devient une obligation pour les signaux; un avantage, sans être une nécessité, pour l'éclairage de la surface des puits; enfin, sans intérêt pour la force motrice, et inférieur pour les galeries d'abatage.

Ajoutons enfin que l'adoption de l'électricité pour la transmission des signaux exige, sinon un personnel, du moins un homme bien au courant de cette manœuvre, sous peine d'accroître les dangers ordinaires. (*L'Électricité.*)

Sur les incendies allumés par la foudre.

Par M. D. Colladon.

Au mois de juillet dernier, une maison située à Beaulieu, canton de Neuchâtel, dont le galetas contenait un dépôt de vieux fer, ayant été incendiée par la foudre, un journal local annonça que M. le Dr Hirsch avait été d'avis que ce dépôt de vieux fer placé dans le galetas avait pu attirer la foudre et devenir la cause du désastre. J'ai été consulté à cette occasion par une association qui s'occupe activement, dans la Suisse romande, de recueillir et publier, dans un journal mensuel, la *Défense*, des documents sur les causes des incendies et sur les moyens qui peuvent servir à les prévenir ou à les combattre.

Voici la substance de ma réponse, datée du 27 juillet 1883 :

« Je pense, d'après une multitude de faits connus, que ce dépôt de vieux fer placé dans le galetas n'a eu qu'une influence nulle, ou bien minime, pour attirer la foudre sur ce bâtiment, tout en admettant comme possible qu'il ait été une cause secondaire de l'incendie.

« Les corps métalliques sur les toits, dans les murs ou dans les appartements, n'ont évidemment qu'une très faible influence pour attirer les coups de foudre depuis les nuages; nous ne voyons pas que les maisons de ville ou de campagne qui, depuis un demi-siècle, ont été pourvues de toitures presque entièrement métalliques, avec ou sans paratonnerres, soient plus souvent frappées que celles qui ont des charpentes en bois et sont couvertes en tuiles. Un simple dépôt de vieux fer, dans un grenier, doit avoir bien moins d'influence pour attirer la foudre d'un nuage orageux qu'une toiture revêtue

de zinc, ou qu'une charpente en fer soutenant un revêtement en tuiles ou en ardoises.

« Mais, lorsqu'une maison qui n'a pas de bon conducteur métallique allant du toit jusqu'au sol humide, est frappée par la foudre, le courant électrique peut se répandre à l'intérieur; les corps métalliques qu'elle contient ont alors une influence notable sur son parcours et peuvent être la cause d'un incendie.

« Placez un corps très combustible, de l'amadou, des corps imprégnés d'esprit-de-vin, etc., entre deux barres métalliques peu distantes, l'une étant plus ou moins isolée et l'autre communiquant avec le sol, et faites passer une forte décharge électrique de la première à la seconde, il se produira entre elles une vive étincelle qui allumera le corps combustible. De même, le courant de la foudre, en circulant à l'intérieur d'un bâtiment avant de se répandre dans le sol, saute d'un corps conducteur sur un autre, et, dans ce trajet, il tend à incendier les corps combustibles intermédiaires. Il est possible, et il me paraît très probable que l'incendie allumé par la foudre dans un galetas à Beaulieu, aura eu cette origine.

« La maison a été foudroyée sans que le dépôt de vieux fer en ait été la cause : cette maison n'ayant pas de conducteur métallique extérieur pour conduire la foudre dans le sol, celle-ci a pénétré à l'intérieur, se dirigeant de préférence vers les corps métalliques, et en passant sous forme de puissantes étincelles, de l'un à l'autre, elle a pu enflammer les objets combustibles intermédiaires.

« Peut-être mon savant collègue, M. le Dr Hirsch, est-il du même avis, et son explication peut avoir été mal comprise et mal interprêtée par ceux qui l'ont communiquée au journal.

« Je profite de cette occasion pour rappeler l'importance d'établir, pour toute maison isolée et que l'on suppose pouvoir être foudroyée, une communication métallique valable entre le faîte et le sol humide, en donnant à ce conducteur une forte section.

« Agréez, etc. »

Le 15 août suivant, à une heure après minuit, dans un domaine situé à Bourdigny, canton de Genève, il y a eu, dans

Ajoutons enfin que l'adoption de l'électricité pour la transmission des signaux exige, sinon un personnel, du moins un homme bien au courant de cette manœuvre, sous peine d'accroître les dangers ordinaires. (*L'Électricité.*)

Sur les incendies allumés par la foudre.

Par M. D. Colladon.

Au mois de juillet dernier, une maison située à Beaulieu, canton de Neuchâtel, dont le galetas contenait un dépôt de vieux fer, ayant été incendiée par la foudre, un journal local annonça que M. le Dr Hirsch avait été d'avis que ce dépôt de vieux fer placé dans le galetas avait pu attirer la foudre et devenir la cause du désastre. J'ai été consulté à cette occasion par une association qui s'occupe activement, dans la Suisse romande, de recueillir et publier, dans un journal mensuel, la *Défense*, des documents sur les causes des incendies et sur les moyens qui peuvent servir à les prévenir ou à les combattre.

Voici la substance de ma réponse, datée du 27 juillet 1883:

« Je pense, d'après une multitude de faits connus, que ce dépôt de vieux fer placé dans le galetas n'a eu qu'une influence nulle, ou bien minime, pour attirer la foudre sur ce bâtiment, tout en admettant comme possible qu'il ait été une cause secondaire de l'incendie.

« Les corps métalliques sur les toits, dans les murs ou dans les appartements, n'ont évidemment qu'une très faible influence pour attirer les coups de foudre depuis les nuages; nous ne voyons pas que les maisons de ville ou de campagne qui, depuis un demi-siècle, ont été pourvues de toitures presque entièrement métalliques, avec ou sans paratonnerres, soient plus souvent frappées que celles qui ont des charpentes en bois et sont couvertes en tuiles. Un simple dépôt de vieux fer, dans un grenier, doit avoir bien moins d'influence pour attirer la foudre d'un nuage orageux qu'une toiture revêtue

de zinc, ou qu'une charpente en fer soutenant un revêtement en tuiles ou en ardoises.

« Mais, lorsqu'une maison qui n'a pas de bon conducteur métallique allant du toit jusqu'au sol humide, est frappée par la foudre, le courant électrique peut se répandre à l'intérieur; les corps métalliques qu'elle contient ont alors une influence notable sur son parcours et peuvent être la cause d'un incendie.

« Placez un corps très combustible, de l'amadou, des corps imprégnés d'esprit-de-vin, etc., entre deux barres métalliques peu distantes, l'une étant plus ou moins isolée et l'autre communiquant avec le sol, et faites passer une forte décharge électrique de la première à la seconde, il se produira entre elles une vive étincelle qui allumera le corps combustible. De même, le courant de la foudre, en circulant à l'intérieur d'un bâtiment avant de se répandre dans le sol, saute d'un corps conducteur sur un autre, et, dans ce trajet, il tend à incendier les corps combustibles intermédiaires. Il est possible, et il me paraît très probable que l'incendie allumé par la foudre dans un galetas à Beaulieu, aura eu cette origine.

« La maison a été foudroyée sans que le dépôt de vieux fer en ait été la cause : cette maison n'ayant pas de conducteur métallique extérieur pour conduire la foudre dans le sol, celle-ci a pénétré à l'intérieur, se dirigeant de préférence vers les corps métalliques, et en passant sous forme de puissantes étincelles, de l'un à l'autre, elle a pu enflammer les objets combustibles intermédiaires.

« Peut-être mon savant collègue, M. le Dr Hirsch, est-il du même avis, et son explication peut avoir été mal comprise et mal interprétée par ceux qui l'ont communiquée au journal.

« Je profite de cette occasion pour rappeler l'importance d'établir, pour toute maison isolée et que l'on suppose pouvoir être foudroyée, une communication métallique valable entre le faîte et le sol humide, en donnant à ce conducteur une forte section.

« Agréez, etc. »

Le 15 août suivant, à une heure après minuit, dans un domaine situé à Bourdigny, canton de Genève, il y a eu, dans

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 Septembre-Octobre

RAPPORT

A MONSIEUR LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

SUR

LES ORIGINES DE LA GUTTA-PERCHA

ET SUR LA POSSIBILITÉ

DE L'ACCLIMATER DANS LA COCHINCHINE FRANÇAISE

Par M. SELIGMANN-LUI, sous-ingénieur des télégraphes.

Monsieur le Ministre,

La mission que vous m'aviez confiée, consistait à rechercher le moyen de créer en Cochinchine le commerce de la gutta-percha, soit que les arbres qui fournissent cette matière fussent indigènes sur notre colonie, et qu'il s'agît seulement de les faire connaître et d'en organiser l'exploitation; soit qu'il fallût au contraire se rendre dans les pays de production actuelle, et y chercher de jeunes plants que l'on tenterait d'acclimater sur notre territoire.

Dans l'un ou l'autre cas, avant de rien entreprendre,

il était nécessaire d'étudier le fonctionnement des marchés existants, leur accroissement possible, et surtout leur mode d'approvisionnement; d'un autre côté, il était indispensable de résoudre la question demeurée obscure jusqu'à ce jour des origines botaniques de la gutta-percha. En effet, les travaux les plus récents dont il m'avait été donné connaissance à mon départ de Paris, aussi bien que les notes fournies par le Muséum d'histoire naturelle et par les maisons de commerce spéciales, ne faisaient que constater une confusion extrême, une ignorance absolue (*). L'habitat, les caractères, la nature même des plantes donnaient lieu aux affirmations les plus contradictoires; en même temps que des différences fréquemment observées dans les produits commerciaux vendus sous le nom générique de gutta, laissaient soupçonner l'existence de plusieurs espèces de valeurs inégales. A commencer une exploration, à faire des essais de culture, sans avoir acquis des données plus précises, on eût couru le risque d'échouer complètement ou de tomber dans de graves erreurs, de confondre par exemple avec le produit véritable quelque autre gomme d'apparence à peu près semblable, comme il en existe tant dans les régions tropicales.

Singapore. — Je me décidai donc à m'arrêter en premier lieu à Singapore, espérant obtenir sur cette place importante les indications nécessaires. M. le consul de France, et un de nos compatriotes qui occupe une haute situation commerciale, M. Chassériaux, eurent l'obli-

(*) Voir en particulier la thèse présentée à la Faculté de médecine de Paris par M. le docteur Beauvisage, ainsi que les ouvrages mentionnés dans cette thèse.

Voir également les rapports de M. Murton, directeur du jardin botanique de Singapoure.

geance de me présenter dans les principales maisons. Mais, dès les premières paroles, je pus me convaincre que l'ignorance n'était pas moindre qu'en Europe; et que cette ignorance, ce manque d'éléments d'étude, qui a empêché les savants d'asseoir une opinion, tient aux conditions mêmes dans lesquelles se traite le commerce de la gutta-percha. Aussi, après m'être fait remettre une collection des sortes commerciales, après m'être renseigné sur les demandes, les ressources et les prix du marché, je dus, pour pousser plus loin mes recherches, m'adresser aux marchands chinois qui servent d'intermédiaires entre les commerçants européens et les importateurs indigènes. Singapore n'étant pas le pays de production, mais seulement l'entrepôt, l'emporium où se rassemblent tous les produits de la Malaisie, il me fallait d'abord connaître les pays d'où arrive la gutta. En faisant porter mes questions sur la nature, les caractères et les prix des diverses qualités, je pus recueillir un certain nombre de noms, ports situés dans le sud de la presqu'île de Malacca, et dans les îles de Sumatra, Banka, Bornéo, Célèbes, etc.

En prévision d'un voyage dans ces pays, tous de langue malaise, j'avais dû songer à me pourvoir d'un interprète, et grâce à l'obligeance de M. le Consul, j'avais été assez heureux pour en trouver un au consulat de France, dans M. Rochet, chancelier substitué, qui précédemment avait passé dix-huit mois à Sumatra dans une plantation. M. Rochet m'assurait avoir vu des arbres à gutta dans le haut de la rivière de Bedaghi, et pensait pouvoir me conduire directement sur la place.

Au jardin botanique de Singapore, un arbuste encore jeune et en assez mauvais état figurait sous le nom d'*Isonandra percha Hookeri;* d'après cette désigna-

tion, c'eût été la plante cherchée; et les employés anglais du jardin, tout en refusant de m'en remettre un échantillon, disaient l'avoir reçue des environs de Malacca. Enfin, des recherches faites sur ma demande, montraient que les arbres à gutta ont complètement disparu de l'île de Singapore, où ils ont existé autrefois. Cependant les démarches que j'avais dû faire, avaient éveillé la défiance dans quelques maisons, et l'on avait refusé de me fournir aucune espèce d'indications; d'autres, mieux intentionnés peut-être, qui m'avaient fait au début force promesses, s'en tenaient aux paroles, ou reconnaissaient leur impuissance. La proximité de l'île de Sumatra, son accès relativement facile, l'abondance et la bonne qualité de ses produits, enfin les affirmations de mon interprète m'avaient déjà déterminé à porter de ce côté mes premières recherches. Dès lors, craignant de voir s'accentuer les mauvais vouloirs, et sentant d'ailleurs que je ne pourrais plus gagner grand chose à prolonger mon séjour, je résolus de brusquer mon départ et de finir mes préparatifs de voyage à Poulo-Pinang. Cette combinaison avait l'avantage de me faire voir une place qui, bien que déchue de son importance antérieure, a conservé de fréquentes relations d'une part avec Atchin et Delli, d'autre part, avec Quedah, Perak, Selanggore et le sud de la péninsule malaise: je pouvais donc y trouver quelque lumière. Cet espoir ne devait point se réaliser, et cela, pour des raisons purement commerciales, comme à Singapore; car j'ai su depuis que M. Murton a trouvé des guttifères dans le voisinage de Perak.

Voyage de Sumatra. Delli. — Enfin, le vendredi 10 novembre, au soir, je débarquais à Delli-Labuan,

dans l'île de Sumatra. Sur cette partie de la côte, il n'existe aucun service de navigation qui permette de s'arrêter à de courts intervalles et de repartir sans perte de temps. Comme, pour les recherches, il me fallait précisément entrer dans les principales rivières, les remonter, faire des courses dans le pays, le seul moyen qui s'offrît, consistait à louer une embarcation et à prendre des bateliers à ma solde, de façon à être entièrement libre de mes mouvements. Le premier jour fut donc employé à visiter des *praos* malais et des *kotas* chinois, et à discuter les prix, chose longue et féconde en discours, étant données la paresse des Malais et leur indifférence pour le gain. Le lendemain, je dus songer à me mettre en règle avec les autorités locales. Quoique le pays soit nominalement soumis à la domination absolue d'un sultan, en réalité le pouvoir appartient au résident hollandais de Meidan. Lui seul pouvait m'autoriser à parcourir le pays ; lui seul pouvait me donner pour les chefs indigènes les lettres sans lesquelles il est impossible d'obtenir ni vivres, ni guides, ni canots, ni rameurs. De plus, le haut de la rivière Balawan, autour de Meidan, est occupé par de grandes plantations de tabac ; pour se procurer les immenses espaces nécessaires à leurs cultures, les planteurs ont dû abattre la forêt, et, soit par ces défrichements, soit par leurs rapports quotidiens avec les indigènes, pouvaient avoir recueilli quelques données sur les arbres à gutta. Dès le matin, nous étions donc à cheval, M. Rochet et moi ; mais tel était l'état de la route, sorte de fondrière continue où les buffles enfonçaient dans la boue jusqu'au ventre, que marchant sans débrider, nous ne pûmes parvenir avant le soir à la maison d'un planteur français, M. de Guigné, qui nous offrit la plus gracieuse hospitalité. Le lende-

main était un dimanche, et il ne fut pas possible de voir le résident. Notre hôte, questionné au sujet des arbres à gutta, ne put me donner aucune indication : si ces arbres avaient jamais existé dans le pays, ils étaient maintenant détruits sans que l'on en eût gardé le souvenir ; cependant, il me fit voir une matière blanchâtre, friable, tombant en poussière sous le doigt, que l'on disait être une gomme originaire du pays des Battaks, à l'intérieur de l'île. Cet échantillon paraît différer sensiblement de la véritable gutta. Enfin le troisième jour, présenté par M. de Guigné lui-même, dont je ne saurais trop reconnaître l'obligeance, je recevais du résident les permis nécessaires et je reprenais le chemin de Delli. Là, trois jours se passèrent encore avant que l'on pût s'accorder avec un marchand chinois sur la location d'un bateau, et avant que ce bateau fut prêt à prendre la mer. Ce temps fut employé à faire, en outre des visites obligatoires chez le radjah, son frère et ses ministres, une tournée chez les principaux marchands chinois et chez les chefs ou *datous* des pays que nous allions visiter. Naturellement, je faisais porter la conversation sur le point qui m'intéressait, et je pus obtenir du datou de Bedaghi quelques indications assez vagues. D'après lui, les arbres étaient détruits à Delli et sur les côtes ; mais on en trouverait à Bedaghi et à Padang, à deux jours de marche de la rivière, dans le pays des Battaks. Sur la possibilité d'une culture, il faut, disait-il, planter ces arbres étant bien jeune, si l'on veut voir une récolte avant de mourir. Il avouait d'ailleurs ne les point connaître et n'en avoir jamais vu.

Enfin, le 18 novembre, à midi, nous nous embarquions sur un sampan-kota conduit par trois Chinois, et nous allions passer la nuit à la barre de la rivière Balawan,

en attendant que la marée montante nous permît de gagner le large. On ne saurait imaginer rien de plus misérable que ce bateau, long de sept mètres, large d'à peine deux. Le logement pour nous, notre domestique chinois et nos bagages s'y réduisait à une cale trop courte pour s'y étendre, trop étroite pour s'y coucher en travers, trop basse pour s'y tenir debout. Le soir même commençaient des scènes qui ne devaient plus cesser jusqu'au jour bien heureux où il nous fut donné de quitter ce bateau; le patron, ivre d'opium, refusait de partir, répondait à nos instances en geignant, se plaignait du vent, de la marée, de la rivière et ne cédait que devant la menace imminente des coups ou d'une retenue de salaire. C'est ainsi que tantôt marchant, tantôt arrêtés sans raison, nous mîmes deux jours pour parvenir à la rivière et au village de Bedaghi.

Bedaghi. — C'est dans le haut de cette rivière que M. Rochet avait fait un séjour de dix-huit mois, et pensait avoir vu des arbres à gutta. Aussi, sans trop nous inquiéter de l'ignorance des habitants qui ne comprenaient rien à nos questions, nous nous mîmes en quête d'un canot léger, capable de remonter rapidement la rivière et de nous mener au Campong-Parret, où nous devions trouver les arbres tant désirés. Il y eut un premier retard au départ; le canot amené faisait eau, et il fallut le changer. Puis la rivière était très forte et ralentissait la marche, si bien qu'au lieu d'arriver à Parret pour la nuit nous fûmes surpris par l'obscurité, après une soirée des plus pénibles, et obligés de passer la nuit dans la hutte d'un Battak. Le lendemain, nous arrivions à l'endroit indiqué; mais, contrairement à notre attente, il ne s'y trouvait point d'arbres. Bien plus, les indigènes interrogés paraissaient n'avoir aucune idée

de ce que nous voulions : aux demandes faites sur la matière qui leur sert à emmancher les lames des sabres ou des parangs, ils répondaient en parlant d'une gomme *balou* ou *imbalou*. Et, quand, attaquant la question par l'autre bout, on tâchait de leur faire comprendre qu'il s'agissait d'une matière recueillie en faisant des incisions dans l'écorce des arbres, ils parlaient de *gutta-mayang*, et montraient une matière formée de longs filaments collés les uns aux autres en une sorte de pelote; ils ne se servaient d'ailleurs de ce mayang que comme matière combustible, pour faire des torches. Enfin, ils avaient des spécimens d'un caoutchouc appelé *gutta-ramboun*, dont les propriétés semblaient leur être tout à fait familières; ils prononcèrent aussi le nom d'une *gutta-belaouk*, sans pouvoir m'en donner un morceau. Malheureusement, trop confiant dans les affirmations de mon interprète et inexpérimenté, j'avais négligé d'emporter un échantillon de gutta-percha. Il fut donc impossible de s'entendre, et nous dûmes reprendre le chemin de la côte sans résultat. La nuit même, on descendait avec la marée, et on reprit la mer; mais à peine étions-nous endormis, que les Chinois, qui avaient eu deux jours pleins pour se reposer, s'arrêtaient malgré un vent favorable et jetaient l'ancre; et ce fut à grand peine que l'on réussit à les faire entrer, le jeudi 24 novembre, dans la rivière de Padang.

Padang. — On m'avait affirmé à Delli que je trouverais à Padang une plantation régulière de guttiers. Bien qu'ayant appris déjà par plusieurs mécomptes combien peu on pouvait se fier à de tels avis, je fus désagréablement surpris de ce que je vis : au milieu d'un village malais misérable, deux ou trois maisons de bois appartenant au datou, puis une douane et des magasins

qu'un Chinois était en train de construire ; à terre, un Européen arrivé la veille pour ouvrir des cultures de tabac dans le haut de la rivière ; mais rien qui ressemblât à une exploitation européenne. Aussitôt débarqués, nous envoyons au datou les lettres du rajah de Delli et du résident de Meidan, et bientôt il nous fait prévenir qu'il nous attend dans sa demeure. Assis par terre, et formant conseil autour de lui, une douzaine de notables nous considéraient avec des yeux inquiets, dans l'attente de quelque grand événement. Mais l'effarement ne connut plus de limites, lorsque les lettres du rajah étant lues, et notre condition de hauts et puissants seigneurs amis du résident étant dûment constatée, nous en vînmes à exposer l'objet de notre recherche. Tous de s'excuser, de dire qu'ils ne connaissaient point ce dont il était question ; ces pauvres gens se défendaient de leur mieux, et avec raison ; car, dans leur simple jugement, notre enquête ne pouvait être qu'un préliminaire insidieux pour établir quelque nouvel impôt. Pour les rassurer, je leur déclarai par l'interprète que ce que je voulais voir, ce n'était pas ce que les Chinois achètent et revendent, mais seulement les branches, les feuilles et les fleurs de 'arbre ; car, étant un grand sage parmi les hommes blancs, mon intention était de me servir des feuilles pour composer une médecine, et ensuite j'écrirais un gros livre où je ne manquerais pas de parler de mon ami le datou de Padang. La scène changea aussitôt ; et après le premier mouvement de surprise et d'admiration, l'homme de confiance du datou, vieux malais retors qui avait fait le voyage de Singapore, après avoir bien écouté les explications, suggéra timidement qu'il s'agissait sans doute des guttas produites par les arbres appelés *mayangs*. Je lui montrai aussitôt l'échantillon de

gutta-mayang rapporté du Campong-Parret; à quoi il répondit que cette gutta n'avait pas encore été cuite, mais que par la cuisson dans l'eau chaude, elle prenait une apparence toute autre, et telle que je la décrivais. Alors il me revint à la mémoire ce qui avait été dit à Singapore; qu'en malais le mot *getah*, que la prononciation anglaise orthographie gutta, d'où nous faisons nous-même gutta, signifie purement et simplement gomme, en sorte que les deux parties du mot gomme-gutte sont absolument synonymes; que, d'autre part, les indigènes ne reconnaissent à l'île que nous appelons Sumatra d'autre nom que celui de *Poulo-Percha*. Ainsi *gutta-percha* signifie seulement *gomme de Sumatra*, comme on dit gomme arabique ou gomme du Sénégal. Et ce nom, appliqué à une substance originaire de beaucoup de contrées autres que l'île dite Poulo-Percha, n'a et ne peut avoir aucun sens pour l'indigène. De plus voulant voir les arbres, et employant un terme qui ne pouvait veiller que l'idée du produit, il était naturel que nous ne pussions arriver à nous entendre; cette difficulté alait être levée, grâce à ce nom de mayang.

Bientôt, continuant de causer, je savais qu'il existe plusieurs sortes de mayangs, dont je transcrivis les noms sous les formes suivantes : *Lapouh*, *Belouh*, *Derrian* ou *Diacas* ou *Taban*. J'apprenais que ces arbres n'existent que loin de la mer, en pays battak, fait également important pour la continuation de mes recherches et pour la connaissance des espèces distinctes à retrouver; enfin je recueillais le premier indice d'une série de faits intéressant au plus haut degré le commerce et l'industrie, en apprenant que la plus recherchée de toutes les matières, e *derrian*, est souvent mélangée avec le produit d'un arbre appelé *Kajou-arou*. Pour m'assurer que je ne fai-

sais pas fausse route, je fis questionner le datou au sujet des arbres à caoutchouc, et les réponses furent aussi nettes et satisfaisantes qu'on pouvait le souhaiter. On me signala quatre arbres donnant des gommes élastiques, au lieu que les gommes des mayangs ne le sont point. C'étaient la gutta-*bouhd*, qui, restant toujours visqueuse, n'est guère susceptible d'être utilisée ; puis trois caoutchoucs véritables ; la gutta-*ramboun*, la gutta-*gerek* et la gutta-*akar*. La gutta ramboun paraît être identique au produit que l'on vend à Singapore sous le nom de *Borneo rubber* ou de *gutta-souso*, ce dernier nom s'expliquant par la couleur d'un blanc laiteux du suc de la plante (*souso*, *lait*). De même, ce qui m'avait été dit à Bedaghi relativement à l'imbalou, se trouva confirmé et complété; cette matière, la seule qui soit employée pour assujettir les lames de fer dans leur manche, est produite par de très petits animaux noirs (sortes de cochenilles), sur certains arbres de l'espèce appelée *ladŏh-ladŏh;* je pus me procurer des échantillons de la matière et de l'arbre sur lequel on la récolte.

Restait à régler la suite de mes opérations pour tirer parti d'indications aussi précieuses. Les habitants ne paraissaient pas considérer les arbres à gutta comme très abondants dans le haut de Padang, et les informations recueillies à Singapore ne me signalaient point de commerce actif sur ce point. Je craignis donc, si j'entreprenais une course dans cette rivière, de m'attarder en pure perte, et je résolus d'aller directement sur Assahan que je savais être un centre d'exportation, préférant réserver tout le temps dont je disposais pour une exploration poussée à fond de ce côté.

Assahan. — Le soir même de notre arrivée, samedi 26 novembre, je commençai d'aller aux informations, et,

aidé du concours empressé de notre hôte, M. le directeur de la douane Rietberg, je pus bientôt recueillir quelques indices d'un prochain succès. Ainsi en fouillant le magasin d'un Chinois, grand entrepositaire des produits de l'intérieur de l'île, j'aperçus un pain de gutta de belle qualité qui me fut aussitôt désigné comme étant de la gutta *derrian* provenant du haut de la rivière. Chez un autre, je trouvai, en outre du derrian, deux nouvelles espèces : le *Batou* et le *Belouk*, de même origine. Le lendemain étant allé nous présenter au contrôleur hollandais, M. Kroesen, nous fûmes mis par lui en relations avec deux dignitaires indigènes, le datou et le tounkou, qui confirmèrent les dires des Chinois relativement à l'existence des mayangs dans le haut pays. Ils en connaissent plusieurs espèces : *Derrian*, *Batou*, *Tsikkum*, *Belouk*, *Gapouk*, *Kalihara*, *Sundi*. La matière blanche et friable rapportée de Delli était du belouk. La sundi était rare à Assahan, mais abondante à Paney, et se trouvait également à Benkalis et à Siak, avec une qualité inférieure, la *Bouhâ balam*. Quant aux caoutchoucs, ils ne connaissaient que les trois espèces déjà signalées à Padang : *Ramboun*, *Akar* et *Gerek*, aussi appelée *Poulout-meramboun*.

Il n'y avait donc qu'à pénétrer en suivant la rivière jusqu'au point où croissent les mayangs ; mais là même était la difficulté. Ce serait une grande erreur que de se figurer cette partie de Sumatra comme une colonie riche et prospère, percée de routes, peuplée de plantations et d'usines, telles que Java par exemple, ou la résidence de Palembang. Indépendante, il y a peu de temps encore, sous la domination d'un sultan à qui ses intrigues ont fait enlever le pouvoir, cette contrée est absolument inculte, et a gardé toute sa sauvagerie. Voyant le pays se

déboiser et s'épuiser rapidement dans les environs de Delli, ainsi que dans le sud et sur la côte occidentale de l'île, le gouvernement hollandais a voulu, dans un esprit de sage réserve, maintenir intacte, au moins pour le moment, cette région forestière : toute concession de terrain y a donc été refusée, et les seuls Européens établis à Tendjong-Balé sont le contrôleur et le directeur des douanes ; on conçoit aisément qu'une autorité représentée d'une façon aussi sommaire, ne puisse avoir une action bien efficace. En outre, ce n'est plus la population malaise, douce et paisible en général, que l'on a devant soi, mais la race battake, bien plus âpre, bien plus difficile à mener, et dont certaines tribus, à l'intérieur, sont encore plongées dans la barbarie. Il fallait donc compter avec les obstacles matériels aussi bien qu'avec les difficultés que pouvaient susciter la défiance ou le mauvais vouloir des hommes. Après examen de la question, il fut décidé que nous remonterions un affluent de la rivière d'Assahan, l'Ajer Siloh, jusqu'au village de Bandar-Pasir-Manogeh, où le contrôleur était allé peu de temps auparavant ; là nous devions nous adresser au chef qui nous fournirait des guides pour les courses que nous aurions à faire plus loin dans la forêt. Non content de nous remettre des lettres pour le chef en question, M. Kroesen poussa l'obligeance jusqu'à mettre à notre disposition son propre sampan, et chargea le datou de nous trouver huit rameurs, sur l'énergie et la fidélité desquels on pût compter ; et, pour nous servir de pilote et d'interprète avec les Battaks, il nous donna un des plus résolus et des plus intelligents parmi ses opas (*).

Les engagements de nos hommes étant réglés, le canot

(*) On appelle ainsi des miliciens indigènes analogues aux Matas qu'entretenaient autrefois les administrateurs des affaires indigènes, en Cochinchine.

prêt, les vivres et bagages embarqués, nous partîmes le 29 novembre. Le voyage dura cinq jours pendant lesquels on marchait depuis l'aube jusqu'à la nuit et depuis le lever jusqu'au coucher de la lune. Ce que fut cette navigation à travers de vastes solitudes boisées, sur une rivière gonflée par les pluies et dont le cours n'était qu'une succession ininterrompue de rapides, j'aurais peine à l'exprimer. Ordinairement pour remonter, on pousse les canots à la perche, et nos bateliers devaient former deux équipes pour se relayer dans la manœuvre; mais telle était la profondeur des eaux que les perches ne touchaient pas le fond, ou, s'élevant à peine au-dessus de la surface, ne donnaient plus aux hommes suffisamment de prise; en sorte que le sampan, pris par un courant violent, n'avançait qu'avec peine. Il fallut chercher quelqu'autre moyen pour se tirer d'embarras; les perches furent transformées en gaffes, et nous accrochant aux arbres des berges, puis nous hâlant de la longueur des perches, arc-boutant alors le canot sur d'autres perches placées à l'arrière, tandis que celles de l'avant, dégagées, allaient chercher un nouveau point d'appui pour recommencer la même manœuvre, nous pûmes, trois jours durant, escalader la rivière. Mais combien de fois les branches venant à céder, les perches à glisser ou à se rompre, le bateau fut emporté à la dérive bien loin en arrière! Combien de fois un passage difficile nous retint-il impuissants! Je me souviens, entre autres, d'un arbre penché au-dessus de l'eau que l'on ne pouvait contourner sans s'écarter un peu de la berge; cinq fois on essaya, cinq fois le courant nous ramena dès qu'on cessait de s'appuyer à la rive. Alors on se décida à couper l'arbre; ce fut long, mais autrement nous ne serions pas arrivés à franchir l'obstacle.

Cependant le terrain, bas et en partie submergé aux environs de la côte, se relevait peu à peu, et après avoir laissé derrière nous le confluent de la grande Koualapiasa, nous pénétrions dans des gorges de plus en plus profondes, au delà desquelles, derrière une porte de rochers qui est pour les naturels un objet de terreurs superstitieuses, se trouve le village de Bandar-Pasir-Manogeh. Chemin faisant, au lieu dit Poulo-Mendi-Ketjil, nous avions rencontré le pan-oulou (chef) de Bandar-Pasir-Manogeh, jeune homme d'environ quinze ans, et son tuteur le Touan-Poussing, et nous les avions pris avec nous. C'étaient bien les gens les plus stupides et les plus éhontés qu'il fût possible de trouver, n'ayant pas même cette réserve un peu farouche qui habituellement tient lieu de politesse aux races peu civilisées. Aussi, sentant que je ne pourrais pas en obtenir grand'chose, je m'empressai, dès mon arrivée, de lier amitié avec un Chinois établi à Pasir-Manogeh ; il m'en coûta, au moment du départ, une bouteille de gin, que ses services avaient largement payée. Le soir même, il envoyait un vieux battak dans la forêt voisine, et la nuit n'était pas tombée que j'avais entre les mains deux branches de mayang-derrian. Le lendemain, dès que le soleil du matin eut un peu séché la rosée, nous nous mîmes en route guidés par ce même battak, et en fort peu de temps, il nous conduisait devant les arbres sur lesquels je pouvais recueillir de la gutta. Ces arbres appartenaient aux espèces désignées sous les noms de : *Belouk*, *Derrian*, *Djerindjing*, *Batou*, *Korsik*, *Kalihara* ou *Kartas*. La forêt où nous nous trouvions alors, n'est plus sur le territoire de Pasir-Manogeh, mais sur celui du village indépendant de Ci-Naloungan, dont les habitants sont encore anthropophages. Aussi notre guide, nos bateliers malais et musulmans,

notre domestique chinois ne nous suivaient-ils qu'avec répugnance. Enfin, parvenus à un certain point, et au moment de s'engager dans une partie plus épaisse de la forêt, ils refusèrent d'aller plus loin. J'essayai de les décider, désireux que j'aurais été de voir d'autres arbres à gutta, mais il fallut y renoncer. Le jour même, des hommes de Ci-Naloungan, venus à Pasir-Manogeh pour échanger leurs produits, ne témoignaient pas moins de frayeur à la vue des hommes blancs ; j'essayai d'entrer en rapport avec eux, mais sans en rien obtenir.

Le jour suivant, nous fîmes une course en forêt dans une autre direction, et je pus encore recueillir quelques échantillons intéressants, entre autres ceux de trois arbres sur lesquels on trouve de la gomme imbalou et différents du Ladoh-Ladoh. En même temps, pour me procurer rapidement de jeunes plants que je pusse envoyer à Saïgon, j'envoyais des hommes à la recherche dans quatre directions. Pendant leur absence, les courses en forêt continuèrent, autant que le permit la pluie qui tombait pendant environ douze heures par jour, et j'obtins quelques informations qui seront discutées en même temps que les résultats généraux du voyage à Sumatra. Lorsque mon herbier fut suffisamment garni d'échantillons, il fallut songer au retour. On pouvait peut-être gagner à rester plus longtemps, mais le bateau qui devait nous emmener, ne touche à Assahan que tous les quinze jours, et l'état de mes provisions ne me permettait pas d'attendre si longtemps. Il était impossible de rien acheter aux gens du village, soit directement, soit par l'intermédiaire du chef ; et, n'eût été le Chinois dont les cadeaux arrivèrent fort à propos, nous eussions été fort embarrassés ; notre indigence devint telle que le jour du départ, n'ayant plus ni biscuit, ni poulets, ni

œufs, nous fûmes obligés de monter au Campong, d'y faire un étalage général de notre pacotille : verroterie, miroirs, fil de cuivre, etc., et de la troquer à grand renfort de discours contre de misérables victuailles. D'ailleurs je ne pouvais perdre de vue que mon voyage à Sumatra avait pour objet, non de faire une étude botanique, mais de me fournir les données nécessaires pour entreprendre d'autres recherches en Cochinchine ; ces éléments étant réunis et mon temps étant limité, je résolus de poursuivre ma route sans plus tarder. Je fis emballer les plantes de mon mieux ; un tonneau d'écorce construit par mes bateliers, servant de caisse garnie de terre, et des feuilles de bananier sauvage soutenues par des rotins protégeant les tiges du soleil et de l'air de la mer. C'est là tout ce qu'il est possible de faire avec les ressources locales, et c'est loin d'être suffisant.

La descente de la rivière s'opéra en deux jours, sans autre peine que de modérer la vitesse du bateau et de le guider dans les coudes, et le samedi 10 décembre nous prenions passage sur le paquebot l'*Ophir*.

Benkalis. — Les plants de mayangs déjà fort éprouvés par le premier voyage, devaient être transportés directement à Singapore et de là envoyés sur Saïgon par les soins de M. le consul. Mais comme leur état présent me faisait craindre qu'ils ne périssent en route, je me proposais de m'arrêter moi-même à Benkalis, de remonter la rivière de Siak, et d'y former un second envoi, qui ayant à faire un trajet plus court avec des communications plus fréquentes, attendrait moins longtemps son départ et aurait plus de chances d'arriver en bon état. En même temps, je verrais les deux espèces *Balam* et *Suntek* dont on m'avait signalé l'existence ; enfin, et c'était peut-être la principale raison, en pénétrant dans le pays sur un point

assez éloigné d'Assahan, je pourrais contrôler les informations déjà recueillies, je m'assurerais si aux deux endroits les espèces exploitées sont les mêmes, si les terrains où elles se rencontrent sont de même nature. J'aurais même voulu compléter cette étude en poussant jusqu'à Djambi ; mais là encore les moyens de transport rapide faisant défaut, il m'aurait fallu dépenser un temps précieux pour la suite de mes recherches ; et les résultats du voyage de Siak m'ayant semblé suffisamment concluants, je renonçai à cette course.

L'île de Benkalis, formée par les alluvions de la rivière de Siak, ne produit aucune espèce de gutta. Même la *Bouhâ-Balam*, qualité inférieure qui ne trouverait pas se vendre à l'état de pureté et qui n'est employée qu'en mélange avec d'autres gommes, la bouhâ-balam se tire des îles avoisinantes et en particulier de Poulo-Rupat. Il y a d'ailleurs fort peu de commerce local et nos visites chez les marchands chinois demeurèrent infructueuses.

Je saisis donc la première occasion de gagner Siak, et dans la hâte du départ, j'oubliai même de recueillir des échantillons botaniques de Balam.

Siak, pas plus que Benkalis, n'est un lieu de production ; à part la Sundek que l'on rencontre à quelque distance, sur les affluents de la rivière, toutes les gommes, qui font l'objet d'affaires considérables, viennent de l'intérieur. Mais précisément ce caractère de place commerciale devait donner un intérêt particulier à ce que je pourrais apprendre. On y distingue quatre espèces : *Balam*, *Sundek*, *Pouteh* et pour la première fois *Percha*. Je me borne pour l'instant à enregistrer ces noms et y reviendrai plus loin pour quelques observations. La gutta-sundek y est partagée en deux qualités, la meilleure provenant des terrains secs, l'autre des parties marécageuses.

La gutta-pouteh est dépréciée sur le marché, au lieu que la gutta-*percha* est fort recherchée : cette gutta-percha de couleur rouge est, d'après les marchands chinois, la même que l'on désigne sous le nom de merah (rouge), taban et derrian. On y connaît également les caoutchoucs *Gerek* et *Ramboun*. Je fis l'achat d'un certain nombre d'échantillons de ces diverses matières, autant pour l'intérêt que peut présenter leur étude comparée que pour établir avec les Chinois des relations amicales. Puis, leur annonçant mon prochain retour, je continuai à remonter la rivière jusqu'au village de Pakan-Barou. Ce campong, situé à une petite distance des montagnes, est le point de rencontre des naturels du haut pays et des traitants chinois qui y ont établi plusieurs comptoirs. Je fus accueilli de la façon la plus amicale par l'un de ces derniers qui m'offrit l'hospitalité dans sa maison ; et bientôt, causant soit avec lui, soit avec un vieux chef malais, soit avec des indigènes que je voyais en train de préparer des pains de gutta, voici ce que pus savoir.

Pakan-Barou se trouve encore dans la région où croît la sundek ; la gutta-taban vient des montagnes et ne se rencontre pas à moins de six journées de marche ; les terrains où elle se rencontre sont rocheux, d'accès difficile ; et la description qu'on me faisait des arbres, en particulier ce détail si caractéristique que le dessous des feuilles est couverte d'une sorte de duvet de couleur brun roux, concordait entièrement avec ce que j'avais vu à Pasir-Manogeh. D'autre part, le résident de Benkalis m'avait recommandé de ne point dépasser Pakan-Barou, parce que la guerre régnait entre les tribus indépendantes qui habitent les montagnes. Je me bornai donc à conclure avec le chinois Pandjang un marché pour l'envoi de 50 plants de derrian, qu'il expédierait à Singapore

sur un bateau lui appartenant. Ce marché a été fidèlement exécuté. Ne poussant pas plus loin mon exploration, je profitai du moins du séjour à Pakan-Barou pour examiner en détail la préparation que les indigènes font subir aux gommes. J'eus ainsi l'occasion de constater qu'avant même de parvenir à Singapore, la plupart des matières considérées comme de bonne qualité ont subi des falsifications, et je ne parle pas ici de ces fraudes naïves que l'on constate aisément : pierres introduites à l'intérieur des pains de gutta pour faire poids, matières de rebut couvertes d'une mince enveloppe de qualité supérieure, etc.; j'entends de véritables falsifications, faites d'une manière méthodique, de façon à mettre en défaut l'acheteur le plus attentif.

En revenant vers la côte, je m'arrêtai de nouveau à Siak et y conclus un marché pour l'envoi de cinquante pied de sundek; j'emportai moi-même une dizaine de plants de diverses grandeurs, afin de me rendre compte des meilleures conditions de transport. Ces plants ont été envoyés sur Saïgon dès mon arrivée à Singapore, qui eut lieu le 21 décembre 1881.

Je me proposais alors de poursuivre mes recherches en explorant la presqu'île de Malacca, du côté de Pahang et de Tringanou; mais il ne fut pas possible de donner suite à cette idée, parce qu'à cette saison, la mousson de nord-est oppose un obstacle insurmontable aux petites barques malaises que j'aurais pu frêter. Je m'embarquai donc pour Saïgon par le premier paquebot.

Ici se termine la première partie de mes recherches, ce que l'on pourrait appeler les études préparatoires.

Il ne sera pas hors de propos de réunir dès maintenant et de discuter les résultats obtenus dans ce voyage.

Discussion des résultats obtenus dans le voyage de Sumatra.

1° *Résultats scientifiques.* — Je ne m'arrêterai pas beaucoup au côté purement scientifique de la question : aussi bien ne pouvait-il venir à l'idée de personne que, brusquement enlevé à de tout autres travaux, et ne possédant pas même les éléments de la botanique, je pusse me livrer à une étude quelconque. J'ai fait ce qui était en mon pouvoir en recueillant dans un herbier les spécimens des différents arbres que j'ai rencontrés ; il est fâcheux que ces échantillons soient insuffisants pour la détermination complète des espèces; mais, malgré tous mes efforts, je n'ai pu trouver ni fleurs, ni fruits, et les indigènes m'ont assuré n'en avoir jamais vu.

Et, quant à ce qu'aurait pu faire un savant de profession, quant à revenir au même endroit dans une autre saison et m'y installer à demeure pour y attendre la floraison des arbres, lors même que j'en aurais connu l'époque, je ne pouvais y songer. Car ce n'était pas en vue d'étendre la science botanique que j'avais entrepris le voyage de Sumatra, mais uniquement pour trouver les moyens de porter mes investigations dans une autre contrée; je ne poursuivais pas le but théorique de déterminer des espèces, mais le but pratique de connaître les divers arbres à gutta et la valeur de leur produit, pour les rechercher plus tard dans les forêts de la Cochinchine. Si donc il ne s'agissait que de répondre au reproche de n'avoir point rapporté tout ce qu'il faut pour déterminer rigoureusement et faire connaître des plantes ignorées jusqu'à ce jour, je ne m'arrêterais pas longtemps, car ce n'est plus qu'une affaire de patience ; près

de deux cents plants appartenant à neuf espèces bien distinctes poussent au jardin botanique et au jardin du gouvernement à Saïgon, et, en attendant que leurs fleurs et leurs fruits, si impatiemment attendus, permettent aux botanistes de les décorer de noms latins, ils conserveront leurs appellations barbares, les seules, il est vrai, qu'il nous importe de connaître actuellement pour les demander aux tribus de l'intérieur.

Objections. — Mais on pourrait peut-être craindre que, faute d'une étude suffisamment approfondie, on ne soit exposé « à propager une plante dont les propriétés « ne sont pas certaines, ce qui serait une ruine pour le « colon et une dépense considérable inutile pour l'État. » On se rappelle, en effet, ce qui s'est passé à Java, où l'on a répandu à grands frais une espèce particulière de quinquina pour s'apercevoir, quinze ans plus tard, que l'écorce en était sans valeur.

Qu'on me permette de le faire remarquer, l'étude approfondie, l'analyse botanique minutieuse n'avaient point fait défaut, puisque, et ce sont les documents officiels qui prennent soin de nous l'apprendre, il s'agissait d'une espèce connue, définie, le *Cinchona-pahudiana;* et ni l'étude, ni l'analyse n'ont prévenu les mécomptes. A quoi faut-il donc les attribuer? A un défaut de soin dans l'emballage des graines, ainsi qu'on le laisse également entendre? Mais si cette plante, inutile au point que sa culture ait été « une ruine pour le colon », si cette plante a été répandue avec tant de profusion qu'il en soit résulté, sans fruit pour l'État, une « dépense considérable », comment admettre qu'une erreur prenant de si larges proportions n'ait eu d'autre origine qu'une étiquette mal posée sur un sachet de graines? Non, on s'est trompé plus gravement : ou bien l'on a pris une plante pour une

autre ; ou bien l'on s'est pressé d'introduire une culture, sans s'être suffisamment rendu compte de sa valeur commerciale. Je ne puis faire la preuve du soin que j'ai apporté à recueillir et à classer les échantillons ; mais je vais du moins entreprendre de faire voir, par des considérations étrangères, il est vrai, à la science de Linné, que les deux autres sources d'erreurs, infiniment plus dangereuses, ne sont point à redouter.

Que, parmi une quarantaine d'espèces de quinquinas, une confusion ait pu s'introduire entre des individus dont les noms ne diffèrent que par une épithète dédicatoire (*) ou géographique qui n'éveille aucune idée, ce n'est pas, à la rigueur, chose bien surprenante. Mais qu'un bûcheron de nos bois puisse se tromper d'un sapin à un chêne, c'est ce que l'on aura toujours grand'peine à admettre ; de même en un pays où l'homme vit de la forêt. Si, en tous les points de l'île, les mêmes noms battaks sont en usage pour désigner les diverses espèces, en employant ces noms dans les relations avec les indigènes, on pourra s'assurer de ne se point tromper, de ne point demander une plante, en voulant une autre : donc, ce qu'il est intéressant de faire ressortir, c'est cette uniformité des dénominations tout le long de la côte.

Neuf espèces distinctes. — A cet effet, je présenterai les remarques suivantes : Un grand nombre de mots malais se terminent par la lettre *k;* mais la prononciation de cette finale varie suivant que l'on se trouve en pays de langue dure, comme Malacca, ou en pays de langue douce ; Sumatra est au nombre de ces derniers, et le *k* final ne se fait sentir que par une aspiration. Ainsi des mots qui s'écrivent : anak (enfant), miniak (huile),

(*) *Cinchona officinalis Blomplandiana, Cinchona officinalis Condaminea, Cinchona officinalis Uritusinga, Cinchona Humboldiana,* etc.

perak (argent), mankok (tasse), djerok (citron), gemouk (graisse), se prononcent : anáh, miniáh, péráh, mankóh, djeróh, gemoúh.

Cette observation faite, je serai absolument en droit d'assimiler les noms de :

1° *Belouk* (Assahan), *Belou* (Padang), *Belaou* (Parret), qui tous désignent la substance blanche et friable dont j'avais eu un échantillon à Delli-Meidan.

Peut-être aussi pourra-t-on mettre en regard les noms de :

2° *Gapouk* (Assahan) et *Lapouh* (Padang).

Enfin le rapport est évident entre :

3° *Sundek* ou *Suntek* (Pakan-Barou), *Sundéh* (Benkalis et Siak), *Sundi* (Assahan, Paney), *Souni* (Chinois de Singapore), et *Sountei* (citée par M. le docteur Beauvisage).

Et ce qui vient encore confirmer ces rapprochements, c'est que l'intonation dure du *k* ne se rencontre que là où prédomine la race battake, à Pasir-Manogeh, Bandar-Poulo, Pakan-Barou, Tendjong-Balé, etc.

4°, 5° et 6° Les dénominations de *Tsikkum*, *Korsik* et *Djerindjing* n'ont été prononcées qu'à Pasir-Manogeh; toutefois, M. le docteur Beauvisage mentionne une gutta-Waringin, qui pourrait bien être identique à la dernière de ces trois.

Il y a lieu de remarquer que ces espèces, connues en un point fort éloigné dans l'intérieur, ne le sont point sur la côte; il n'y a donc pas confusion, mais ignorance, ce qui tendrait à faire croire que ces espèces sont ou peu abondantes, ou peu exploitées, ou peu estimées.

7° La gutta-*batou* est connue à Pasir-Manogeh, Bandar-Poulo, Paney, Batou-Barra, Siak.

8° Le nom de gutta-*derrian* se retrouve depuis Padang

jusqu'à Pakan-Barou : suivant les localités, l'intonation que je figure par un double *r*, prend toutes les valeurs depuis le *r* français jusqu'à la jota espagnole. Le nom de taban, signalé par M. Brau de Saint-Pol Lias et par M. Murton du côté de Perak, par M. de Vriès et les observateurs hollandais dans les districts lampongs, est également en usage sur la côte orientale de Sumatra, et, ainsi qu'on me l'a dit expressément à Siak, il ne désigne pas autre chose que le derrian.

9° On m'avait, on s'en souvient, signalé à Padang des mélanges de gutta-derrian et du produit d'un arbre appelé Kajou-arrou. Je crois qu'il y a lieu d'assimiler ce nom à celui de Kalihara, usité à Pasir-Manogeh. Lorsqu'un mot, passant d'une langue dans une autre, s'y trouve comme isolé, sans que son origine primitive soit fixée par aucun terme de son ou de forme similaire, il est exposé à subir de graves déformations. Mais si, parmi les articulations qui le composent, il en est quelqu'une qui rappelle un mot de la langue assimilatrice présentant un rapport de signification plus ou moins éloigné, la déformation est presque inévitable. C'est ainsi que, dans le cas actuel, le nom battak *Kalihara* s'est transformé en Kajou-Arou, le dissyllabe Kajou signifiant arbre en langue malaise.

Voilà donc, à mon sens, neuf espèces portant des noms bien distincts, bien connus sur toute la côte orientale de Sumatra; connus aussi, au moins pour une partie d'entre eux, dans la presqu'île de Malacca.

Et si je me suis appesanti sur cette question des mots, c'est que je la crois capitale; c'est que ces mots sont indispensables pour entrer en communication avec les indigènes, qu'on veuille se procurer des plants pour la culture ou acheter des produits pour l'industrie; c'est que

ces mots nous donnent le moyen d'aller plus loin, sans crainte de cette funeste erreur : « demander une chose, en voulant une autre ».

Résultats industriels.

Nature et qualité des guttas. — Que sous chacun de ces noms soient compris plusieurs familles ou plusieurs individus, je ne saurais l'affirmer ni le nier ; et nul ne pourra rien dire de certain, de complet à ce sujet, jusqu'au jour encore éloigné où l'on aura parcouru en tous sens cette vaste contrée encore si mal connue de la Malaisie. Mais ce que l'on peut dès maintenant assurer, c'est que les familles et les individus compris sous un même nom diffèrent peu; et l'on n'a point à redouter cette autre source de mécomptes : « avoir introduit une culture sans en connaître suffisamment la valeur commerciale ». Autre chose est le cas des quinquinas, autre chose celui qui nous occupe. Lorsqu'il s'agit d'acclimater l'espèce la plus riche de toutes en un alcaloïde que les méthodes les plus délicates de l'analyse chimique sont seules capables de doser ; lorsque, dans cette espèce, la nature du sol, l'altitude des terrains, les procédés de culture peuvent modifier la proportion de l'alcaloïde du simple au double ; sans doute les études les plus méticuleuses doivent être faites avant de rien entreprendre. Mais nous n'en sommes point là : et, pour peu que l'on ait fait quelque étude des applications de la gutta-percha, visité les usines où elle se met en œuvre, et comparé les résultats obtenus par chaque fabricant, il est aisé de se faire une opinion provisoire. Et les échantillons rapportés des diverses espèces sont destinés à contrôler par l'expérience l'exactitude de cette première impression.

Il est un point, toutefois, sur lequel, avant toute appréciation, je dois faire quelques réserves ; ce ne sont pas seulement les propriétés électriques ou les qualités plastiques qui caractérisent une bonne gutta-percha, mais aussi son inaltérabilité. Depuis l'époque où ont été construits les premiers câbles, on s'est attaché à accroître l'isolement ; et, par divers procédés, par des mélanges, on est parvenu à développer cette propriété bien au delà du nécessaire. Mais de ces matières travaillées, combien sont durables, comme l'étaient les produits purs et de qualité supérieure employés primitivement? Quels que soient donc les résultats obtenus dans le laboratoire, on devra tenir grand compte de cet élément si important, l'expérience acquise. Si une gomme nouvelle paraît présenter des avantages, sans doute il en faudra tenter la culture, mais à titre d'essai seulement, tant que cette gomme n'aura pas fait ses preuves d'une manière décisive : au contraire, les substances dont la valeur a été constatée depuis longtemps peuvent et doivent inspirer une tout autre confiance.

Au premier rang de ces dernières, je placerai la gutta-*derrian* ou *taban;* blanche lorsqu'elle est pure, cette matière est généralement teintée en rouge brun par des substances étrangères; elle offre à l'œil toutes les apparences d'une bonne gutta. C'est elle qui est de beaucoup la plus recherchée sur le marché, et c'est elle sans doute qui a été exploitée en premier lieu. On ne s'est rejeté sur les autres espèces que le jour où celle-ci est devenue rare. Les guttas de Pahang (presqu'île de Malacca), qui se vendent jusqu'à 112 et 120 $ le pikul (60 kilogr.), paraissent être du derrian. Par contre, on n'en trouve que fort peu parmi les produits originaires de Bornéo.

En second lieu, je placerai la *gutta-sundek* et la *gutta-*

batou, d'accord en cela aussi avec les tendances commerciales. La gutta-sundek pure présente une masse blanche compacte, dont la coupure lisse et brillante a l'aspect de l'ivoire : généralement, les matières mises en vente ont une couleur rougeâtre, due au mélange de la gutta proprement dite, qui circule entre l'écorce et le bois, et d'un suc colorant rouge qui s'écoule du tissu cortical extérieur. La gutta-sundek paraît moins plastique que le derrian. La gutta-batou, de couleur plus claire et plus rouge que la gutta-taban du commerce, a un tissu moins fin : peut-être aussi est-elle plus rigide.

Les guttas *tsikkum*, *korsik* et *djerindjing*, dont je n'ai vu d'ailleurs que de faibles quantités, m'ont semblé très dures; elle seraient donc impropres à la confection des câbles. On pourrait peut-être s'en servir dans certains cas pour remplacer l'ébonite, si difficile à bien préparer, si difficile à mettre en œuvre, si sujette à se détériorer sous l'influence de l'air et de la lumière.

Les guttas *belouk* et *gapouk*, confondues dans le commerce sous le nom de gutta-pouteh (gutta blanche) sont peu estimées; elles offrent, en effet, un caractère qui les rapproche de la Bouhâ-Balam, cette matière sans valeur qui provient des îles basses et des terrains marécageux; c'est de devenir, au bout d'un temps relativement court, friables et pulvérulentes. Les études pourront faire voir si cette transformation est un simple changement physique, ou si les phénomènes d'oxydation et de résinification observés sur toutes les guttas anciennes, se produisent plus rapidement sur ces deux espèces : elles montreront si la cuisson peut prévenir ou retarder ces phénomènes, ou s'il faut décidément renoncer à l'emploi de ces matières pour les usages télégraphiques, en raison de leur peu de durée. Dans ce dernier cas, elles trouve-

raient peut-être leur emploi dans certaines industries, pour lesquelles le bas prix pourrait compenser la prompte détérioration ; ainsi, dans la préparation des moules galvanoplastiques.

Je me bornerai à ces brèves indications, données moins pour décrire les caractères et les propriétés spéciales de chaque espèce, que pour établir que, dès maintenant et sans plus attendre, on peut arrêter son jugement. Le derrian, tout au moins, peut être hardiment propagé. Ce que valent les autres espèces, on le fera connaître plus tard, après des études qui seront longues et délicates ; car on ne devra pas examiner seulement les propriétés électriques, l'isolement, le pouvoir inducteur spécifique, mais tous les autres caractères physiques et chimiques ; si la gomme est élastique, comment elle se comporte en présence de la chaleur, à quelle température elle se ramollit, quelle consistance elle reprend après avoir été fondue, comment elle résiste aux actions oxydantes, si elle est perméable à l'eau sous pression, etc. Et quand la réponse à tant de questions aura été favorable, quand une épreuve prolongée aura joint à tous ces témoignages celui de l'expérience, alors seulement il sera temps de répandre et de propager cette nouvelle culture. Obtiendra-t-on, à la suite de ces études, des résultats meilleurs que ceux que donne la gutta-derrian ; la chose est possible. Mais si, aux quinze ou vingt ans nécessaires pour qu'une plantation donne ses premiers produits, on ajoute autant d'années qu'il faudra pour que l'épreuve de durée puisse être concluante, on reporte à trente ou quarante ans toute amélioration à l'état de choses actuel. Faut-il, en vue d'un mieux éventuel, renoncer à un bien certain ? Je ne le crois pas ; c'est déjà bien long que, commençant aussitôt les cultures, on ne puisse récolter avant quinze

ans au moins. Et, pour démontrer combien il est urgent que des mesures soient prises, combien tout retard serait préjudiciable, il me suffira d'exposer comment j'ai vu pratiquer l'exploitation des arbres à gutta, et comment se fait le commerce des gommes.

Exploitation des arbres à gutta. — Les grandes forêts d'une seule essence, comme sont les forêts d'Europe, ne se rencontrent pas dans les îles de la Sonde; au contraire, de nombreuses espèces se pressent les unes à côté des autres, leurs troncs reliés par des lianes, leur pied perdu dans une broussaille haute et serrée. Il faut donc, en premier lieu, chercher et découvrir, dans ce fouillis inextricable, les arbres à gutta qui poussent isolés ou par petits groupes. Le préjugé populaire veut que l'exploitation puisse en être faite en toute saison, à l'époque de la pleine lune; on verrait difficilement dans l'intervention de la lune autre chose qu'une croyance superstitieuse. En même temps, il semblerait que le choix de la saison ne dût pas être indifférent, et que la sève guttifère dût être bien plus abondante après les pluies qu'à la fin des sécheresses. Lors des premiers essais faits par le gouvernement des Indes anglaises pour acclimater les caoutchoucs, on a eu l'occasion de faire des remarques de ce genre.

L'arbre abattu et déposé sur des pièces de bois, on lève à des intervalles assez rapprochés des bandelettes circulaires d'écorce, et on avive avec soin les bords de ces blessures; le suc guttifère, mêlé de la matière colorante de l'écorce, s'écoule et tombe sur de grandes feuilles de bananier sauvage disposées à terre pour le recevoir. L'écoulement ne se fait pas très vite, et les feuilles restent plusieurs jours en place. Pendant ce temps, le lait subit une fermentation; il y tombe des feuilles sèches, de la

terre, des débris de toutes sortes, il s'y met des insectes; s'il survient une pluie, la matière encore fluide est entraînée par les eaux et perdue. Ainsi, par le vice de ce procédé primitif, une partie de la matière utilisable n'est pas recueillie, une autre gâtée, une autre perdue sans fruit.

Abandonné à lui-même le lait ne se concrète pas vite; pour accélérer la prise, les indigènes l'agitent avec une baguette, puis le pétrissent dans leurs mains : chaque visite à chaque arbre donne ainsi une petite masse solide. Tous les produits récoltés dans la journée sont soumis à la cuisson pour les ramollir et les mettre en boules plus volumineuses; et bien souvent se trouvent ainsi mêlés des produits de natures différentes. La cuisson se fait à feu nu, dans de grandes bassines en fer, au fond desquelles on jette un peu d'eau pour empêcher le métal de rougir. On forme ainsi des boules de la grosseur des deux poings environ, qui sont apportées sur les places d'échange, et troquées contre de menus objets d'industrie chinoise ou européenne. Les matières brutes ainsi livrées au commerce, sont chargées d'impuretés trop visibles, et ne trouveraient point acheteur. De plus, elles sont façonnées en pains irréguliers, de faible densité et d'un arrimage peu commode. Enfin, parmi les Européens, c'est une idée reçue, et bien mal fondée d'ailleurs, que les meilleurs guttas ont une coloration d'un brun rosé ou violacé. Le premier intermédiaire s'occupe donc de parer sa marchandise, de lui donner l'apparence voulue. Les pains sont découpés en petits morceaux, et les diverses espèces mélangées en proportions déterminées. Puis le tout est soumis à une deuxième cuisson, qui dure une demi-heure environ; à l'eau est ajoutée une certaine quantité du suc colorant des écor-

ces, de manière à communiquer à la gomme la teinte désirée. Pendant cette cuisson, à laquelle on n'apporte pas grand soin, la matière est grossièrement préservée du contact de l'air par un morceau de natte mouillée. Aussitôt que la gutta est suffisamment ramollie, on l'étend sur une planche de bois dur, on la couvre d'une natte, et on la piétine énergiquement de façon à expulser l'eau et à agglomérer les morceaux. Pendant ce pétrissage, la masse est plusieurs fois relevée et repliée sur elle-même pour assurer le mélange intime des parties de qualités différentes. Ensuite on la frappe à coups redoublés d'un morceau de bois dur, puis on la retire et on la laisse refroidir et sécher à l'ombre. Le battage a pour effet de nettoyer la surface du pain en chassant les impuretés, ou plutôt en les faisant rentrer à l'intérieur. On achève l'opération en répandant à plusieurs reprises sur les pains une eau très chargée de matière colorante qui achève de les teindre. C'est ici le moment d'entrer en plus de détails au sujet de la falsification que j'ai signalée plus haut.

Les mélanges qui peuvent être faits dans la forêt, au moment de la récolte, échappent à toute constatation, mais voici des pratiques constantes et bien plus graves. Plus d'une fois, sur la côte, on m'avait parlé vaguement d'une gutta-*protjo*, *potjo*, ou *percha* : Les renseignements donnés à cet égard étaient toujours très peu précis, les uns la disant blanche, les autres rouge, et nul n'ayant connaissance d'un arbre qui la produisît. A Siak, on m'avait assuré que la gutta-taban est identique à la gutta-percha. A Pakan-Barou, j'eus l'explication complète : la gutta-percha du commerce est un mélange de deux parties en poids de derrian et d'une partie de sundek; et, m'a-t-on dit, avec ces propor-

tions il est impossible de reconnaître la fraude. Si on songe que le pikul de taban vaut environ 100 à 120 $, et celui de sundek seulement 70 à 75 $, on verra l'importance commerciale de ces agissements; et, d'autre part, si nos appréciations sur la valeur relative des différentes sortes sont justifiées, on en sentira l'importance industrielle. De même, les matières vendues dans le commerce sous le nom de gutta-souni comportent : gutta-sundek, deux parties; mélange de sundek et de taban, deux parties; gutta-pouteh, une partie, la gutta-pouteh employée à Siak etant de la Bouhâ-Balam qui n'a aucune valeur.

Résultats commerciaux.

Expédition et commerce sur la place de Singapore. — Après ces diverses manipulations, la matière étant devenue marchande, rentre en magasin jusqu'au jour où il se trouve assez des produits divers du pays pour compléter la charge, charge bien légère, d'un canot qui descend à la côte. Là, un Chinois, correspondant de celui de l'intérieur, reçoit le tout en échange de menus objets, d'opium, d'eau-de-vie, de sel, de papiers à prières, etc.; il réunit ainsi de divers côtés quelques pikuls de gutta, des peaux, du gambier, du sangdragon, du tabac, du poivre, et à la première occasion favorable les envoie à Singapore par une barque chinoise ou malaise. A l'arrivée, les marchandises ne sont pas mises à terre, car il faudrait payer un droit de quai, au lieu que le stationnement en rade d'une jonque montée par trois ou quatre coolies, ne coûte rien; le patron du bateau va trouver un marchand chinois connu de lui ou de son affréteur, lui fait ses offres, lui montre sa cargaison à bord, et c'est

seulement après marché conclu que les ballots sont descendus et portés directement chez l'acquéreur. D'autres fois, l'opération se règle d'expéditeur à consignataire au moyen d'un compte-courant; mais, en aucun cas, on ne voit sur les quais la marchandise attendant l'acheteur. Il ne saurait d'ailleurs convenir à l'Européen, dont le temps et la peine représentent en ces pays une si grande valeur, de gaspiller l'un et l'autre à courir le port, visiter les bateaux arrivés, et débattre longuement les prix de vente, pour finalement payer plus cher que son concurrent chinois. Celui-ci en effet a bien des ressources qui échappent à l'Européen : outre qu'il arrive à s'entendre bien plus aisément avec ses compatriotes, qu'il a avec eux des relations personnelles, il peut s'acquitter en nature ou par des billets à long terme, alors que l'on n'accepte de l'homme blanc que le paiement comptant en espèces. Ce sont donc des Chinois qui reçoivent ces apports successifs, les accumulent, les trient, les mélangent sans souci de provenance ni d'ancienneté, et forment des qualités moyennes. Quand une maison européenne a traité pour une livraison sur Londres ou sur Amsterdam, elle charge de ses achats son courtier chinois qui va prenant chez l'un, chez l'autre de ses compatriotes. Et ce sont les lots ainsi recueillis de droite et de gauche qui vont s'entasser pêle-mêle dans les godowns; ce sont les mélanges de ces mélanges qui arrivent sur nos marchés décorés de noms dépourvus de sens et faits pour égarer les recherches : Singapore, par exemple, dont l'île ne renferme plus un plant authentique d'arbre à gutta; ou Macassar, qui n'est que l'entrepôt des provenances de la côte orientale de Bornéo.

Tels sont les nombreux intermédiaires qui, par la orce des choses viennent se placer entre les termes ex-

trêmes de cette longue série : d'une part, le misérable indigène, qui, se frayant à coups de parang un pénible passage dans l'épaisseur de la forêt, va recueillir poignée par poignée la précieuse substance; d'autre part, le négociant européen qui dispose, pour traiter ses affaires, des mêmes facilités qu'il trouverait à Londres ou à Paris. Et si, malgré des demandes pressantes et souvent renouvelées, la science n'a pu obtenir du commerce établi dans ces régions, ni une information, ni un document précis, ni un spécimen des espèces végétales, il n'en faut point chercher d'autres causes : ignorance des noms, car aux appellations battakes se substituent des termes malais bientôt défigurés par la prononciation vicieuse des Chinois (*), puis des noms de ports d'embarquement, puis des qualifications tirées uniquement de la couleur du produit, enfin de nouvelles dénominations géographiques arbitrairement imposées; ignorance des choses, car, bien loin que l'Européen de Singapore ou de Batavia soit en mesure de fournir quelque indication, une expérience personnelle m'a montré le premier intermédiaire déjà, incapable de me renseigner en rien. Il fallait donc, de toute nécessité, remonter d'échelon en échelon, utiliser les dires de chacun pour atteindre et saisir celui qui le précède dans la série, parvenir de proche en proche jusqu'au dernier qui pourrait servir de guide et mener au pied des arbres dans la forêt; cette tâche a été la mienne, et c'est pour l'accomplir qu'a été entrepris le voyage de Sumatra; ce moyen devait réussir, et il a réussi.

Impossibilité des achats directs. — De cette organisation du commerce, on peut tirer un autre enseigne-

(*) Les Chinois ne peuvent pas prononcer certaines lettres, *r* par exemple.

ment; bien souvent on s'est demandé s'il ne serait pas possible et avantageux pour les industries européennes d'avoir des agents locaux et de faire directement leurs achats. Mais à quel point de la série ces agents trouveraient-ils leur place? De récolter soi-même, au moyen d'hommes à gages, il ne saurait être question. Les Chinois établis dans le haut pays, qui servent de premiers intermédiaires, ne sauraient non plus être remplacés : pauvres colporteurs venus en échangeant quelques marchandises contre les produits naturels du pays, puis assurant leurs relations commerciales par des alliances de famille, et continuant à demeure leur ancien métier, ils arrivent à faire un maigre profit dont ils se contentent : ce qui passe par leurs mains est bien peu de chose, et eux seuls peuvent y trouver leur existence. Les marchands de la côte ne traitent pas seulement la gutta, mais tous les autres articles; ils sont importateurs, banquiers, fermiers de l'une des cinq fermes; enfin, ils sont soutenus par l'organisation des *cunxis*, qui leur fournit à bon compte et l'argent et les hommes. D'ailleurs, si on considère l'étendue de l'aire géographique qui approvisionne le marché, et, par suite, le nombre d'agents qui seraient nécessaires, on voit aisément que l'Européen ne peut se substituer ni à ces marchands, ni aux caboteurs natifs qui amènent les produits dans les entrepôts. J'ai indiqué plus haut les avantages que les Chinois ont sur les Européens pour les marchés de détail sur la place de Singapore. Il ne reste donc plus qu'une hypothèse, celle d'un agent spécial, d'un commissionnaire chargé des achats pour le compte d'une maison européenne. Or, si l'on se rend compte de la situation financière de Singapore; si on songe que l'on y voit nombre de maisons importantes, qui joignent à l'exportation de

tous les produits naturels de la contrée, l'importation en gros des articles européens, le commerce de la Chine, du Japon, de Siam, de la Birmanie, de l'archipel Malais et de l'Australie, les affaires sur les charbons, les vins, les riz, le café, le sucre, l'indigo, les épices, les bois de teinture et de construction, etc.; qui arment des navires; qui s'occupent d'opérations de banque, de change, d'assurances; et qui, malgré cette activité commerciale, ne se soutiennent qu'à grand'peine; et si, en même temps, on considère à quelles énormes dépenses est astreint un Européen, autant par les nécessités du climat que par des habitudes de luxe depuis longtemps invétérées en Orient; on arrive à cette conclusion que l'entretien d'un agent causera des frais hors de proportion avec les services qu'il pourra rendre, et qu'il sera ruineux; ou bien que l'on devra créer une maison en tout semblable à celles qui sont déjà existantes, mais ayant en moins l'habitude des affaires du pays, les relations anciennes et la clientèle établie. On aurait ainsi supprimé au profit d'un seul la libre concurrence, et l'on ne voit guère quel avantage on aurait obtenu. Je crois donc que, tant que la nature même du marché, je veux dire son mode d'approvisionnement, n'aura pas été changée, il sera inutile ou même nuisible de tenter d'en changer la forme.

Le marché actuel ne peut recevoir d'extension. — D'ailleurs, si l'industrie électrique rencontre des difficultés, si un renchérissement énorme a frappé la gutta-percha, ce n'est point aux intermédiaires qu'il faut en faire remonter la responsabilité. Bien au contraire, du jour où les matières isolantes végétales sont devenues l'objet d'un commerce actif, de nombreuses maisons se sont empressées de traiter cet article; et, par une con-

séquence naturelle, chacun a dû réduire son bénéfice au strict nécessaire pour ne pas voir tout le trafic passer aux mains du voisin. Mais il se trouve qu'à des besoins accrus au delà de toute prévision, le marché ne peut offrir de nouvelles réserves; et peut-être serait-il encore plus exact de dire qu'à une demande croissante ne peuvent plus suffire des ressources épuisées et en voie de complète destruction. Ce n'est donc point là une de ces hausses passagères, comme il peut s'en produire en Europe sur une marchandise prise en faveur; car aussitôt on se met à l'œuvre, et, soit par l'accroissement de la production locale, soit par l'apport de l'extérieur, l'équilibre se rétablit vite. Mais ici, le marché par sa nature même manque de cette élasticité; les négociants de Singapore, témoins de cette situation difficile, n'y peuvent porter aucun remède, tandis que les producteurs véritables ne la connaissent pas, et la connussent-ils, ne s'en soucient aucunement. Le désir du gain qui, chez les nations civilisées, est un si énergique stimulant, fait entièrement défaut; et l'on pourrait presque dire que, tout au contraire, plus les guttas seront rares et chères, et moins il en sera apporté pour la vente, l'indigène trouvant plus vite et au prix d'un moindre travail de quoi subvenir aux besoins de son indolente oisiveté.

Il y a plus : à supposer que les recherches deviennent plus actives, que les Chinois, par exemple, se mettent à exploiter eux-mêmes la forêt, et c'est là une hypothèse fort peu vraisemblable, la difficulté ne changerait d'aspect que pour paraître plus alarmante encore. Car s'il est remarquable de voir, en l'espace de six années, les prix presque triplés, il n'est pas moins caractéristique que, dans ce même espace de temps, la qualité des matières mises en vente ait baissé de plus en plus; les pro-

duits que l'on se dispute aujourd'hui au cours de 100 $ ne valent pas ceux que l'on obtenait pour 40 $ en 1876. Voici un autre symptôme également significatif : jusqu'en 1876, on ne distinguait que deux qualités de gutta, actuellement on en a fait trois; c'est seulement où le bon fait défaut, que l'on se met en peine de trier le médiocre du pire. Et chacun des bulletins de la chambre de commerce de Singapore le dit à tout venant : les qualités supérieures manquent, et à leur place s'introduisent des produits sans valeur, que notre extrême pénurie peut seule accepter. Détruites les premières par une exploitation imprévoyante et barbare, les bonnes espèces se font rares, et ne se rencontrent plus que dans les lieux les plus inaccessibles; et ce sont maintenant les espèces moyennes et inférieures, dédaignées autrefois, que l'on est en train de faire rapidement disparaître. Plus de soixante mille mayangs périssent ainsi chaque année; et comme on s'est attaqué d'abord aux plus beaux et aux plus forts, il faudra bientôt que la quantité supplée à la vigueur des arbres abattus. On ne saurait donc attendre que la situation s'améliore par les ressources actuelles des pays qui ont jusqu'ici approvisionné le marché, et il est urgent de rechercher des secours extérieurs.

Aire géographique de production. Les contrées qui m'ont été signalées à Singapore comme produisant de la gutta-percha, sont (*) :

1° *Le sud de la presqu'île de Malacca.* — Le point le plus élevé où j'ai eu connaissance d'un commerce de gommes, est le petit port de Tringanou situé sur la côte orientale, presqu'à l'extrémité des possessions siamoises.

(*) Voir la carte annexée au rapport.

Plus tard, à Bankok, je me suis assuré que, plus au nord, il n'existait point de gutta. Au-dessous se rencontrent deux États malais indépendants, celui de Padang, à l'intérieur des terres; et celui de Pahang, qui s'étend le long de la mer. Toute cette région est absolument inexplorée. De la ville (?) même de Pahang s'exporte une gutta de qualité supérieure fort recherchée. Sur la côte occidentale, M. Murton et M. Brau de Saint-Pol Lias ont rencontré des guttiers du côté de Perak, et sans doute il en existe aussi vers Selaggore et Malacca; toutefois il ne se fait aucun commerce de ce côté. Il ne serait pas impossible que la chaîne de montagnes qui traverse toute la péninsule malaise du nord au sud, et qui abrite la côte occidentale contre la mousson du nord-est, ait pour effet de modifier le climat et de le rendre moins favorable que celui de l'autre versant à la croissance des guttifères.

2° *La côte orientale de Sumatra*, depuis le 3e degré de latitude nord environ. La province de Palembang et les districts Lampongs, dans le sud, paraissent ne fournir qu'une assez faible quantité, soit que les défrichements et les cultures aient fait disparaître les arbres, soit que la zone d'habitat normal ne descende pas dans l'île plus loin que le 3e parallèle sud. Il est également à remarquer que la côte occidentale de Sumatra, abritée de la mousson du nord-est comme la côte occidentale de Malacca, ne donne non plus aucun produit. A Sumatra, il convient de joindre les îles voisines, Banca et l'archipel de Riow.

3° *La presque totalité de Bornéo.* Il ne faut guère excepter que la partie la plus septentrionale de l'île. Il vient des produits de Sarawak, de Bruni, de Soulou, ainsi que des provinces appartenant à la Hollande, Coti, Banjer-Massing, Matan et Pontianak; mais ces produits se

classent pour la plupart parmi les moyens et les médiocres; les belles qualités sont rares.

Si l'on jette les yeux sur une carte, on constate que de toute cette région où se rencontrent naturellement les guttifères, les points extrêmes sont compris entre le 6e degré de latitude nord et le 6e degré sud, et que la plus grande partie des terrains de production sont situés dans une zone qui s'étend de quatre degrés seulement de part et d'autre de l'équateur. On est ainsi amené à considérer le 5e parallèle comme une limite moyenne de l'habitat normal des plantes. Or sous cette latitude, en outre des terres citées plus haut, quelles autres rencontrons-nous, où l'on puisse rechercher les arbres devenus trop rares? Célèbes, Gilolo, les Moluques, une partie de la Nouvelle-Guinée. Rien qu'à considérer l'étendue de ces îles, on sent qu'elles ne peuvent offrir de bien grandes ressources; car ce sont des espaces bien plus considérables qui ont été dépeuplés en quelques années. Mais regardant de plus près, examinant l'origine des guttas mises en vente sur le marché de Macassar, dans l'île de Célèbes, on remarque que toutes viennent de Soulou, de Koti, de Pagatan, qui sont dans Bornéo, tandis que Célèbes même ne fournit absolument rien. De même, on n'a pas connaissance de produits de cette nature exportés des Moluques ou de la Papouasie. Et cette différence a sa raison dans la configuration géographique de la contrée. Depuis le détroit de Malacca jusqu'à la mer de Chine, un piédestal sous-marin couvert de 60 mètres d'eau à peine supporte Bornéo, Java, Sumatra, la péninsule malaise, et va rejoindre le continent par les côtes de Siam, de la Cochinchine et de l'Annam. Un autre massif aussi peu immergé, comprend l'Australie, la Nouvelle-Guinée et tout l'archipel qui s'étend jusqu'à Célèbes. Entre les

deux, une faille dont la profondeur dépasse deux cents mètres part des Philippines, sépare Bornéo de Célèbes et franchit entre Balli et Lombok la chaîne d'îles volcaniques qui forment la suite et le prolongement de Java. Les travaux du naturaliste Wallace ont démontré que par la faune et la flore aussi bien que par la forme du sol ces deux massifs appartiennent, l'un à l'Asie tropicale et l'autre à l'Australie. L'absence de produits exportés de Célèbes prend alors une toute autre signification. Aussi bien était-il surprenant que des commerçants aussi habiles que les Chinois, aussi répandus sur la surface de ces mers, eussent laissé une source aussi importante de profits sans en tirer avantage. Mais la vérité est que les espèces asiatiques, et en particulier les mayangs, n'existent plus dans ces îles, où règne la végétation d'un monde tout différent.

Si donc ce n'est point une erreur que de restreindre entre des bornes si étroites l'habitat naturel des guttifères, si effectivement ils ne s'étendent point sur le continent asiatique au delà du 6e degré, il n'y a point d'espoir d'une amélioration présente ; et il n'y a de ressource pour l'avenir qu'à entreprendre immédiatement des cultures. Je devais donc porter tout particulièrement mon attention sur la nature des terrains où se rencontrent les mayangs. Depuis, ayant eu connaissance des recherches faites par M. Murton, du côté de Perak, j'ai trouvé un accord complet entre ses observations et celles que j'avais faites moi-même sur ce sujet. Les îles de la Sonde, d'origine éruptive, et renfermant encore plusieurs volcans en activité, présentent, en raison de cette nature, deux sortes de terrains bien distincts. Au centre est une région montagneuse, quelquefois très élevée ; les rivières, recevant à l'époque des pluies une masse d'eau

énorme, descendent avec impétuosité, ravinent profondément les berges des vallées supérieures, et se chargent d'une quantité considérable de limon qu'elles déposent plus loin, lorsque leur cours est ralenti. Ainsi se forme au pied des montagnes une ceinture de terres basses qui s'élargit tous les jours, et qui, en dessous de la surface de la mer, se prolonge par des bancs jusqu'à une grande distance de la côte. De ces alluvions, les plus récentes sont encore noyées à demi; leur forme, leur disposition se modifient chaque jour, et cet inextricable dédale d'îlots vaseux et mouvants disparaît sous le feuillage des palétuviers et des palmiers d'eau. Au delà, des dépôts plus anciens, déjà asséchés par le soleil, forment un sol ferme, mais absolument plat, peu élevé et souvent inondé par les crues des rivières. Dans ces parties très fertiles, se sont établies des populations malaises qui ont commencé quelques défrichements; c'est là aussi que les Européens ont ouvert quelques plantations, et cultivent le tabac à Delli et à Langkat, la cannelle et le manioc à Benkalis, la canne, le café, le poivre dans la province de Palembang et sur la côte occidentale. Plus haut enfin, dès que les premiers mouvements du sol encaissent les rivières dans des vallées plus profondes, et empêchent les débordements; dès que, par suite, les terrains rocheux commencent à émerger des couches épaisses des terrains de transport, on entre dans la région des grandes forêts. C'est là, que sur des bancs de grès recouvert d'un humus peu profond se rencontrent les mayangs : de nombreux ruisseaux qui ne tarissent pas pendant la saison sèche, et des pluies fréquentes réparties sur toute l'étendue de l'année, conservent la fraîcheur et l'humidité du sol. L'altitude est trop faible encore pour que la température soit sensiblement abaissée; et, à la côte, la

moyenne du mois le moins chaud de l'année ne descend pas au-dessous de 25°. Que ces conditions de sol et de climat soient les seules qui conviennent aux mayangs, sans doute je n'oserais l'affirmer; tout ce que je puis dire, c'est qu'il en était ainsi là où j'ai vu ces arbres, et là où M. Murton les a rencontrés.

Voyage au Cambodge et à Siam. — Ayant ainsi obtenu en deux mois de voyage, les renseignements qui devaient me guider plus tard, je dus revenir à la question que vous m'aviez prescrit d'étudier. Des notes qui m'avaient été remises à mon départ par M. Pierre, directeur du jardin botanique de Saïgon ; d'autres, adressées à M. le gouverneur de la Cochinchine ; enfin, l'avis unanime de toutes les personnes de la colonie qui avaient quelque peu parcouru les forêts, m'engageaient à ne point m'arrêter en Basse-Cochinchine et à me rendre directement au Cambodge. On me signalait, en particulier, aux environs de Kampot, la vallée de Kamchay (*), où il y avait eu, il y a quelques années, un commencement d'exploitation. Sur les conseils de M. Pierre, on avait récolté une certaine quantité d'une gomme naturelle du pays, le *Thior* ou *Chérey-thom* et on l'avait envoyé à Singapore. Quoique la vente n'en eût pas été effectuée à des prix avantageux, un Allemand qui avait été longtemps employé dans le commerce de la gutta, avait cru pouvoir en tirer parti, et s'était établi à Kampot ; mais dans les courses qu'il avait dû faire pour explorer les forêts, il avait été pris d'une fièvre pernicieuse, et après sa mort, la tentative n'avait plus eu de suites. Sans doute les considérations que j'ai développées plus haut au sujet de la distribution géographique des mayangs, ne me

(*) Et la chaîne des montagnes de l'Éléphant (Phnôm-Popok-whil).

laissaient que peu d'espoir de trouver ces arbres en Cochinchine ou au Cambodge; d'autant qu'aucune des plantes sur lesquelles M. Pierre avait appelé mon attention, ne répondait aux espèces de Sumatra. Mais il pouvait être utile d'examiner les espèces du pays, et, entre autres, le thior, dont le musée des Colonies, à Paris, ne possède que des échantillons complètement altérés, qui ne sauraient donner une juste idée de la valeur du produit. En outre, vivement frappé de la situation critique du marché, à l'instant présent et craignant que la Cochinchine ne pût rien nous fournir, je crus que je me conformerais mieux à vos intentions en ne bornant pas mes recherches aux seules possessions françaises, et en poussant jusqu'à Siam. Puisque la mousson ne m'avait pas permis d'aller à Pahang, je pourrais à Bankok obtenir des informations sur le haut de la presqu'île malaise et savoir si la gutta se récolte plus loin que Tringanou, ou s'il n'y a rien à attendre du vaste pays qui est compris entre le 6e degré de latitude nord et les frontières du Cambodge. Puis, revenant par voie de terre, j'aurais l'occasion, sur ce long parcours, de traverser les forêts, de m'enquérir de leurs produits et de voir si les terrains paraissent propres à la culture des mayangs.

Mon itinéraire ainsi arrêté, je partis de Saïgon le 6 janvier et arrivai le 8 à Phnom-Penh. La route de Kampot à Phnom-Penh et à Oudong, qui, sous le règne précédent, était entretenue avec soin, au dire d'Henri Mouhot, est maintenant laissée à l'abandon; les ponts sont détruits, le chemin est coupé par des marécages et des fondrières et souvent disparaît entièrement sous la végétation. Aussi le moyen le plus sûr de gagner Kampot consiste-t-il à suivre le fil télégraphique; mais il faut pour cela avoir des éléphants pour les voyageurs, et, pour les ba-

gages, des charrettes à bœufs que l'on change à chaque tram (étape) en vertu d'un ordre du roi. L'usage veut que, pour obtenir ces facilités de transport, on aille faire visite au roi; il se passa donc quelques jours jusqu'à ce que, l'audience demandée et accordée, les ordres expédiés, les éléphants réunis et munis de leurs paniers, les charrettes de réquisition venues des villages voisins, la caravane fût prête à partir. Comme à Sumatra, j'avais dû me pourvoir d'un interprète; grâce aux bons offices de la colonie française, je pus m'assurer les services de M. Hunter, sujet anglais, qui parlant le cambodgien, le siamois et le laotien, et ayant à diverses reprises parcouru le pays en tous sens, était plus à même que personne de m'être utile. Par ordre de M le Gouverneur, M. le lieutenant Eggly, de l'infanterie de marine, devait également se joindre à l'expédition pour s'occuper de la partie topographique. Les préparatifs étaient poussés aussi activement que le permettaient les ressources plus que restreintes de Saïgon et de Phnom-Penh, et se trouvaient terminés le 14 janvier; mais, par le retard des mandarins chargés de rassembler les voitures, on ne put se mettre en route que le 16.

Kampot. — Instruit par l'expérience de Sumatra, j'avais avec moi un échantillon de gutta et un petit herbier contenant la collection des mayangs : à chaque halte, je faisais interroger les habitants, mais sans en tirer grand'chose; arbres et produits leur étaient également inconnus. Nos étapes étaient réglées par la position des mares auprès desquelles il fallait camper, et par l'obligation de ne pas surmener les éléphants qui ne sauraient faire sans inconvénient plus de 40 kilomètres dans une journée. Le cinquième jour, nous passions un défilé connu sous le nom de Porte de l'éléphant, et le

lendemain nous arrivions à Kampot. Je fis venir aussitôt les chefs du village, et les gens les plus habitués à courir les forêts pour les interroger, soit sur les plantes dont je leur montrais des spécimens, soit sur les guttifères de la contrée. Les jours suivants furent employés à des courses sur divers points dans l'île de Phnom-Dôm pour voir l'espèce appelée *Lovéa-dey* ; d'après la description de la plante et du sol ou elle se rencontre, je croyais avoir affaire à la sundek, mais il n'en était rien. J'allai également dans la vallée de Kamchay où je pus trouver le *Chérey thom* (thior de M Pierre), le *Slay* et une sorte de caoutchouc le *Vahr-Angkott.* Je m'occupai également de faire recueillir des échantillons des gommes de *Srephor*, de *Lipe*, de *Paw*, de *Kouy* et de *Chounie;* en outre je donnai des instructions à M. de Coulgeans, receveur du bureau télégraphique de Kampot pour en faire réunir de plus grandes quantités en mon absence. M. de Coulgeans s'est employé avec beaucoup de bonne grâce à ce travail souvent difficile et pénible, et a d'autant plus de mérite à avoir rassemblé les nombreux échantillons que je lui dois, que les autorités locales n'ont cessé de lui créer des difficultés C'est à dessein que je conserve à toutes ces matières leurs noms cambodgiens; car, je ne saurais trop le répéter, les noms scientifiques ne nous seraient actuellement d'aucune utilité. Un botaniste qui explore la forêt en général, et rencontre une plante, peut, en examinant ses caractères d'après les règles d'une méthode dichotomique, remonter ainsi de degré en degré de la classification, et finalement trouver le nom qui lui convient dans un traité sur la matière. Mais pour celui dont l'affaire est, non pas d'herboriser, mais de chercher certaines espèces en vue d'un objet défini, aller à la découverte serait le moyen le plus sûr de perdre et sa peine et

son temps; car, marchant au hasard, il aurait mille chances pour une de manquer ce qu'il cherche. La seule façon de faire est de ne se mettre en route qu'à bon escient, sous la conduite d'un guide sachant bien ce dont il s'agit; et, pour s'informer aussi bien que pour expliquer ce qu'on veut, ce sont les noms indigènes qui sont nécessaires. Je ne négligeai pas non plus d'examiner la nature des terrains que nous traversions : avant les montagnes de l'Éléphant s'étend un vaste plateau où les forêts alternent avec de grandes plaines couvertes d'herbe et plantées d'arbres peu élevés; le sol paraît être une alluvion ancienne; l'eau est peu abondante; en quelques points seulement on rencontre des affluents du Mekong, et les mares sont peu nombreuses, même à une époque peu avancée de la saison sèche. Les montagnes elles-mêmes, et surtout leur versant du côté de la mer, sont beaucoup plus humides; la végétation était plus vigoureuse, et des ruisseaux barraient la route en plusieurs endroits. Dans la vallée même de Kamchay, la rivière ne tarit jamais; aussi les deux rives sont-elles couvertes d'une végétation serrée; le sous-sol est rocheux; sans doute les nombreuses collines qui sont à droite de la rivière de Kampot forment aussi des vallées fraîches et ombragées, où l'on pourrait avec quelque espoir de succès tenter la culture des mayangs. Je ne possède d'ailleurs aucune donnée sur l'étendue de cette région montagneuse que personne, je crois, n'a encore explorée.

Ayant ainsi pris un aperçu des ressources que peuvent offrir les environs de Kampot, soit que l'on veuille en utiliser les produits naturels, soit qu'on essaie d'introduire des espèces nouvelles, je me préparai à partir pour Bankok. A cet effet, je fis prix avec un marchand chinois pour la location d'une barque; l'équipage et le pilote

étaient des Châms au service du roi que M. le représentant du protectorat avait fait mettre à ma disposition. Nous prîmes la mer le 27 au soir, à la marée descendante. La traversée ne fut pas très heureuse, quoique l'on fût à l'époque de la bonne mousson ; tous les jours, vers neuf heures du matin, le vent tombait et ne reprenait vers quatre heures du soir que pour sauter rapidement et devenir franchement contraire au coucher du soleil ; alors on ne pouvait plus avancer qu'en tirant des bordées, ce qui ne nous faisait guère gagner de chemin, notre pauvre bateau avec ses deux voiles de paille ne pouvant prendre le vent de bien près. La dernière nuit, une série de grains avait amené un vent assez frais, et la mer commençait à grossir, quand notre pilote ne pouvant plus se guider d'après la lune masquée par les nuages, mit le cap au sud, alors qu'il fallait courir plein nord. Il ne s'aperçut de son erreur qu'en se trouvant de nouveau devant l'île de Koh-Si-Chang où nous avions passé le matin ; il dut alors rectifier sa route en marchant à la boussole, instrument qui ne lui était guère familier, et ce ne fut pas sans peine que le lendemain il nous fit entrer dans le Ménam. Le samedi, 4 février, au soir, nous étions à Bankok.

Bankok. — Mon intention était de ne séjourner dans cette ville que le moins possible ; aussi, dès le lendemain je priai M. le gérant du consulat de France de demander au gouvernement siamois les moyens de transport qui nous étaient nécessaires pour effectuer notre retour. Il n'aurait pas été possible de se passer de cette formalité ; car, dans ces misérables pays, on ne pourrait à aucun prix se procurer éléphants et charrettes sans le secours des chefs de village. De plus le seul fait d'un voyage exécuté par des Français venant de Cambodge et y retournant par une autre voie, excitait une défiance qu'il nous fut aisé

de démêler dans les paroles et la contenance du Kromatah(*), lors de notre première entrevue : les explications que je lui donnai sur l'objet de mes recherches, les nombreuses questions que je lui fis à ce sujet, l'intérêt bien évident que j'y prenais, ne suffirent pas à lui ôter toute arrière-pensée. Si j'avais essayé de partir sans le voir, ce qui, vu les usages du pays (**), eut été presque équivalent à me cacher de lui, il n'aurait pas manqué de m'attribuer les intentions les plus dangereuses ; et j'aurais rencontré sur ma route, non plus l'indolence indifférente de gens que les ordres les plus précis parviennent à peine à stimuler, mais leur mauvaise volonté, leur inertie calculée, et peut-être même la consigne de me créer des embarras, autant du moins qu'on peut le faire sans se compromettre. Il fallait donc accepter l'intervention officielle et prendre son parti des lenteurs, inévitables ou non, qui l'accompagnent dans ces pays d'Orient, surtout quand il s'agit d'une chose au fond peu agréable.

Les moyens de transports demandés comprenaient éléphants et charrettes, qu'il était bien difficile de ne pas nous donner, et un bateau pour nous mener à Prakim où commence la route de terre, les environs de Bankok, du Ménam au Bang-Pa-Kong, étant coupés en tous sens d'arroyos, de rivières et de marécages, où l'on ne peut circuler que par eau. On commença par nous dire qu'un vapeur faisait toutes les semaines un service régulier sur Prakim ; informations prises, ce service était suspendu depuis longtemps. On nous offrit alors de passer avec

(*) Ministre des affaires étrangères.

(**) Tout Européen est plus ou moins un personnage officiel et se fait présenter aux Ministres. De plus, une feuille anglaise locale avait pris texte de ma presence qu'elle rattachait à l'affaire du télégraphe de Battambang, pour écrire un article très aigre contre le gouvernement siamois.

des barques à rames sur un canal intérieur qui aboutit à Petrew ; mais, ce que l'on ne disait pas, c'est qu'à cette saison, le canal est à sec ou peu s'en faut. Le Kromatah, repoussé de ce côté, nous dit que l'affaire ne dépendait pas de lui, mais de son collègue, le Kralahom (*) ; le Kralahom nous assura qu'il serait enchanté de nous être agréable, mais qu'il ne pouvait rien sans l'avis conforme du Kromatah. Quand nous revînmes le trouver, apportant cet avis, il nous fit répondre qu'il était parti pour Ajuthia, par crainte du choléra. A son retour, ne trouvant pas d'autres faux-fuyants, il promit le bateau et dit qu'il nous écrirait le lendemain à ce sujet. Le lendemain, le surlendemain, pas de lettre ; finalement, poursuivi de nos réclamations, il nous fit dire qu'à son grand regret il ne pouvait rien faire pour nous, aucun bateau ne se trouvant disponible. Le fait est qu'il ne s'en trouvait guère plus d'une vingtaine à l'ancre devant le palais.

Nous avions ainsi été traînés de délai en délai jusqu'au 16 février ; j'engageai aussitôt des pourparlers avec un riche marchand siamois, nommé Sin, qui possède à Petrew, une décortiquerie de riz, dont les produits sont apportés à Bankok par un petit vapeur. Les fêtes du Tèt, ou nouvel an chinois, faisaient justement chômer l'usine ; le bateau était libre et pouvait venir nous prendre, nous mener à Prakim et se trouver de retour au moulin en temps utile. Après trois jours de réflexions, Sin accepta mes offres, et pour lui ôter tout prétexte de se dédire, je lui versai immédiatement le prix convenu. Ce moyen m'avait toujours réussi avec les Chinois. Ici, ce fut le contraire qui arriva : soit qu'il se fût engagé à la légère, soit qu'il eût reçu quelque ordre

(*) Ministre de la guerre et des transports par eau.

du gouvernement, Sin ne fut pas plus tôt payé qu'il devint hésitant dans ses affirmations; il nous remit de jour en jour, chaque fois jurant ses grands dieux que le bateau était en route et ne pouvait manquer d'arriver sous quelques heures Enfin le 21 février, perdant patience et pressé par les avis que je recevais de l'intérieur où l'eau se faisait rare, je rompis la convention; et quoiqu'il m'en coûtât un prix exagéré, j'arrêtai une chaloupe appartenant à une maison européenne. Le soir même, nous nous mettions en route avec le regret de n'avoir pas pris ce parti dix jours plus tôt.

Le temps n'avait cependant pas été complètement perdu; dans les visites officielles auxquelles ces négociations avaient donné lieu, j'avais pu recueillir quelques indications. Lorsque je parlai au Kromatah du but de mon voyage, il me dit aussitôt que M. Loftus, Anglais engagé au service de Siam en qualité de topographe, avait rapporté de la gutta d'un voyage aux environs de Pré-Tscha-Bouri qui est au fond du golfe de Siam, sur la côte orientale. C'était là un point des plus intéressants, car Pré-Tscha Bouri est situé vers le 13e degré, c'est-à-dire plus haut que la majeure partie de nos possessions. Je demandai aussitôt à voir les échantillons rapportés et, vérification faite, il ne s'agissait que d'un caoutchouc assez semblable au Bornéo-rubber, et le même sans doute qui a été aussi trouvé en Birmanie, du côté de Pégu. Je fis également visite au second roi; ce prince, bien plus âgé que le roi régnant et tenu à l'écart, se console de son peu de pouvoir en s'occupant de topographie, de navigation, etc., et se pique de cultiver les sciences. Il nous reçut dans une salle constellée d'horloges, de baromètres, de télescopes, et mit la conversation, qui se faisait en anglais, sur l'exposition d'élec-

tricité, dont il avait vu des descriptions dans les revues anglaises. Je m'empressai de saisir l'occasion et de lui dire que mon voyage avait précisément trait à ces questions qui l'intéressaient si vivement; et que lui-même, plus que tout autre, était en situation de m'éclairer en sa double qualité de savant et de gouverneur des possessions siamoises dans la presqu'île malaise. Dès que je lui eus décrit les principaux caractères de la gutta, il me répondit qu'il connaissait bien cette matière, et, en effet, il en fit chercher un échantillon dans ses collections; mais c'était un morceau de gutta de Pahang qu'il avait eu à Singapore. Et sur ma question : « Je sais, répondit-il, qu'il en existe aussi à Tringanou, mais pas plus haut, à ma connaissance. »

En même temps, cette réponse se trouvait confirmée par le dire des négociants européens ou chinois qui font l'exportation générale de tous les produits naturels. Une maison française, à qui je montrai tous les avantages qu'elle pourrait tirer d'un pareil commerce, me promit de faire faire des recherches par ses agents dans le bas de la presqu'île et de me communiquer ce qu'elle pourrait apprendre. Il ne fut pas possible, malheureusement, de rien savoir par les missionnaires; car bien certainement nul ne connaît le pays mieux qu'eux, et n'a plus de facilités pour en collectionner les produits; mais aucun des établissements qui dépendent de l'évêché de Bankok n'est bien éloigné dans le sud, et les missions établies dans le bas de la presqu'île relèvent de Malacca. M. le gérant du Consulat fit aussi venir les principaux des Chinois protégés; leurs relations commerciales sont plutôt vers le nord, Prâbat et la vallée du Ménam ou Korat et la partie occidentale du Laos. Ils n'avaient jamais vu exporter du pays d'autres gommes que la gomme-gutte,

la laque noire, le sticklack et tous les produits qui se rencontrent aussi au Cambodge. Ainsi, dans ce trop long séjour à Bankok, j'avais du moins acquis la certitude que les prévisions antérieures étaient justes et qu'il n'existe point de gutta dans la presqu'île malaise au nord de Tringanou; il n'en existe pas dans la vallée de Ménam; on n'en signale point dans le Ténassérim; je n'en avais pas rencontré de Phnom-Penh à Kampot; j'avais donc bien des raisons de croire qu'il ne s'en trouve pas davantage dans le pays compris entre le Ménam et le Mékong. C'est ce que la suite du voyage allait achever de démontrer.

(*Suite au prochain numéro.*)

EXPÉRIENCES FAITES A GRENOBLE

PAR M. MARCEL DEPREZ

SUR

LE TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ

[Note de M. BOULANGER, au nom de la Commission nommée par la ville de Grenoble pour suivre ses expériences (*).]

L'importance de la question du transport de la force par l'électricité n'est plus à constater aujourd'hui, et les expériences faites au mois de mars dernier aux ateliers du chemin de fer du Nord ont montré à quels résultats il était possible d'arriver. Le rapport remarquable qui a

(*) *Composition de la Commission nommée par M. le maire de la ville de Grenoble :*

MM. **Boulanger, capitaine du génie.**	*Président et rapporteur.*
Labatut, préparateur de physique à la Faculté des Sciences.	*Secrétaire.*
Jordan, ingénieur civil.	*Membres.*
Kuss, ingénieur des mines.	
Merceron, ingénieur des ponts et chaussées.	
Rivoire, ingénieur des ponts et chaussées.	
Péremé, inspecteur-ingénieur des lignes télégraphiques.	
Viallet, ingénieur civil.	
Perrin, directeur de l'École professionnelle.	*Membres adjoints.*
Charton, ingénieur civil.	
Peyrard, ingénieur civil.	

suivi ces expériences a indiqué la supériorité de ces résultats sur ceux qu'on avait obtenus précédemment, en même temps qu'il faisait ressortir la concordance existant entre l'expérience et la théorie.

Aussi, dans les expériences faites à Grenoble, la commission désignée pour y prendre part a-t-elle cru devoir s'attacher surtout à obtenir un grand nombre d'observations et à faire porter ces observations principalement sur les mesures dynamométriques. Ce sont les résultats de ces mesures qui font l'objet de la présente note.

Les mesures électriques n'en ont pas moins été prises; elles ont servi à vérifier plus complètement l'ensemble des expériences et à justifier l'emploi des méthodes adoptées.

Les machines employées étaient les mêmes qu'aux ateliers du chemin de fer du Nord: mais le fil des inducteurs de la réceptrice avait été changé, l'isolement des divers organes avait été amélioré; enfin les deux machines étaient l'une et l'autre isolées du sol au moyen de bâtis en bois sec.

La réceptrice étant à Grenoble, la génératrice avait été installée dans l'usine Damaye et Ce, près de la gare de Vizille, où elle était actionnée par une turbine. Les deux machines étaient à une distance de 14 kilomètres; elles étaient réunies par deux fils de bronze siliceux de 2 millimètres de diamètre. La résistance de cette ligne était de 167 ohms. Quant aux machines, leur résistance mesurée à plusieurs reprises donna :

			ohms		ohms
Génératrice.	Inducteurs. . .		20,10	R =	56,70
	Anneaux . . .	$2 \times 18{,}30 =$	36,60		
Réceptrice. .	Inducteurs. . .		61,00	r =	97,00
	Anneaux . . .		36,00		

Les seuls appareils de mesures mécaniques dont pût disposer la commission étaient des freins de Prony ; il en résulte qu'on fut obligé, pour mesurer le travail absorbé par la génératrice, d'avoir recours à la méthode de substitution. Les vérifications nombreuses qui furent faites pendant la durée des expériences justifièrent pleinement l'emploi de cette méthode, qui présente d'ailleurs le grand avantage d'être plus commode que toute autre dans la pratique.

La turbine actionnait, au moyen d'engrenages, un arbre de couche ; celui-ci transmettait le mouvement à la génératrice par l'intermédiaire d'un renvoi qui avait dû être placé pour obtenir une vitesse convenable. C'est sur l'arbre de couche que fut installé le frein, monté sur une poulie d'environ $0^m,60$ de diamètre. Ce frein avait été équilibré à vide ; son bras de levier avait une longueur de $2^m,50$. Enfin sa température était maintenue sensiblement constante par l'écoulement continu d'une émulsion d'eau de savon et d'huile d'olive. On s'assura d'ailleurs de la sensibilité de l'appareil en constatant que, le frein étant chargé de 54 kilogrammes, l'addition d'un poids de 50 grammes suffisait pour détruire l'équilibre.

Le travail maximum de la turbine fonctionnant dans les meilleures conditions de vitesse, mesuré à l'aide de cet appareil, fut trouvé égal à 27 chevaux.

En appelant P la charge du frein, N_0 le nombre de tours par minute, L la longueur du bras de levier, le travail est donné par l'expression

$$T = \frac{2\pi L N_0 P}{4500} = 0,00349 N_0 P.$$

A Grenoble, le travail reçu était mesuré par un frein

de plus petites dimensions, monté sur la poulie de la réceptrice. Le bras de levier étant de 0,815, sa formule était $T_u = 0,001138\,np$.

Voici alors comment on opérait :

La turbine était mise en marche sans que la génératrice fût embrayée, c'est-à-dire en faisant tourner seulement la poulie folle du renvoi. Le frein de Vizille était alors équilibré avec une charge P et l'on comptait N_0. On plaçait ensuite un poids p au frein de Grenoble, et l'on embrayait la génératrice. L'équilibre se trouvait détruit; on le rétablissait à Vizille, de manière à reproduire exactement la vitesse N_0 de l'arbre du frein; ce qui se réalisait à moins d'un tour près. La charge à Vizille devenait P', et, lorsque l'équilibre était rétabli, on notait simultanément les indications des deux freins.

Dans ces conditions, il est évident que le travail dépensé par la génératrice et le renvoi, ou *travail moteur brut*, est donné par l'expression

$$T_b = 0,00349\,N_0(P - P').$$

Cela suppose toutefois que le travail total fourni par la turbine ne varie pas pendant la durée de l'expérience.

Pour s'assurer que cette dernière condition était remplie, après chaque série d'expériences, c'est-à dire avant de modifier la vitesse de la turbine, on tarait de nouveau le frein, la génératrice en repos, et l'on constata à chaque fois que, pour la même charge, l'arbre du frein reprenait exactement la même vitesse.

Le tableau I donne le résultat des expériences (*). Le travail moteur T_m qui a servi à calculer le rendement est

(*) Le tableau manuscrit qui a été transmis à l'Académie par M. Boulanger comprend, outre les résultats des expériences du 1er septembre, les résultats d'autres expériences préliminaires, effectuées le 22 et le 23 août.

TABLEAU I.

DATES des expériences.	NUMÉROS des expériences.	VIZILLE. Nombres de tours par minute de l'arbre du frein N_0.	Nombres de tours par minute de la génératrice : calculés N_1.	Nombres de tours par minute de la génératrice : mesurés N.	Charges du frein : Génératrice en repos P.	Charges du frein : Génératrice en marche P'.	Travail total sur l'arbre du frein $0{,}00349\,N_0P = T$.	Travail moteur : brut $0{,}00349\,N_0(P-P') = T_b$.	Travail moteur : Transmission déduite T_m	GRENOBLE. Nombres de tours par minute de la réceptrice n.	Charges du frein p.	Travail reçu $0.001138\,np = T_u$.	RENDEMENT $100 \times \frac{T_u}{T_m}$.
					kg	kg	ch	ch	ch		kg	ch	
1er sept. 1883.	H 1. . .	110	730	720	54,00	35,20	20,73	7,22	6,97	484	6	3,30	47,3
	H 2. . .	110	730	730	54,00	32,00	20,73	8,45	8,20	446	7	3,55	43,2
	H 3. . .	110	730	732	54,00	30,00	20,73	9,21	8,96	406	8	3,69	41,1
	K 1. . .	130	870	865	40,50	21,50	18,37	8,62	8,33	614	6	4,19	50,3
	K 2. . .	130	870	865	40,50	18,20	18,37	10,11	9,82	586	7	4,66	47,4
	K 3. . .	130	870	875	40,50	15,50	18,37	11,34	11,05	558	8	5,08	45,9
	L 1. . .	145	961	946	45,00	27,70	22,77	8,75	8,42	712	6	4,86	57,7
	L 2. . .	145	961	954	45,00	24,20	22,77	10,43	10,10	686	7	5,46	54,0
	L 3. . .	145	961	970	45,00	21,70	22,77	11,79	11,46	662	8	6,02	52,5
	M 1. . .	160	1061	1040	35,00	17,00	19,54	10,05	9,69	830	6	5,66	58,3
	M 2. . .	160	1061	1040	35,00	14,50	19,54	11,44	11,08	778	7	6,19	55,8
	M 3. . .	160	1061	1050	35,00	12,10	19,54	12,69	12,33	734	8	6,68	54,1
	N : 1. . .	170	1127	1140	28,50	9,00	16,90	11,56	11,18	875	7	6,97	62,3

égal au travail moteur brut diminué de la perte due aux frottements du renvoi sur ses coussinets. Cette perte, calculée en tenant compte du poids du renvoi et de la tension des courroies, est égale à $0,00227N_0$. Il resterait à tenir compte des glissements des courroies, mais la comparaison des vitesses de la génératrice, calculées et mesurées, montre que ces glissements sont peu importants.

Les nombres contenus dans le tableau I sont assez éloquents par eux-mêmes pour qu'il soit inutile de rien ajouter qui en fasse ressortir l'importance, le rendement maximum ayant atteint 62 p. 100 en transportant près de 7 chevaux.

Toutefois, on peut faire sur ces nombres quelques remarques, qui montrent l'accord parfait existant entre les résultats obtenus et la théorie, et qui serviront, par suite, à démontrer l'exactitude des mesures prises et des méthodes suivies pour les obtenir.

On peut remarquer d'abord que, lorsqu'on atteint les vitesses obtenues dans les expériences, les champs magnétiques des machines sont voisins de leurs points de saturation et cessent d'être fonctions de l'intensité du courant. Les mesures électriques renfermant près de 50 observations ont d'ailleurs montré que les pertes par la ligne étaient négligeables et que l'intensité pouvait être considérée comme uniforme. Si cela est, on doit avoir, comme l'a montré M. Marcel Deprez, en appelant I cette intensité,

$$p = KI \quad \text{et} \quad P - P' = K'I,$$

K et K' étant deux coefficients constants.

On tire de ces deux égalités

$$\frac{P - P'}{p} = \frac{K'}{K} = \text{const.}$$

Le tableau II établi pour ces mêmes expériences du 1er septembre montre que cette relation est constamment vérifiée.

TABLEAU II.

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de p.	VALEURS de P.	VALEURS de P'.	VALEURS de P — P'.	VALEURS de $\frac{P-P'}{p}$.	OBSERVATIONS.
	kg	kg	kg	kg	kg	
H 1. . .	6	54,00	35,20	18,8	3,13	La moyenne des valeurs de $\frac{P-P'}{p}$ peut être prise égale à 3.
H 2. . .	7	54,00	32,00	22,0	3,14	
H 3. . .	8	54,00	30,00	24,0	3,00	
K 1. . .	6	40,50	21,50	19,0	3,16	
K 2. . .	7	40,50	18,20	21,3	3,04	
K 3. . .	8	40,50	15,50	25,0	3,12	
L 1. . .	6	45,00	27,70	17,3	2,88	
L 2. . .	7	45,00	24,20	20,8	2,97	
L 3. . .	8	45,00	21,70	23,3	2,91	
M 1. . .	6	35,00	17,00	18,0	3,00	
M 2. . .	7	35,00	14,50	20,5	2,92	
M 3. . .	8	35,00	12,10	22,9	2,86	
N : 1. . .	7	28,50	9,00	19,5	2,78	

On déduit de cette remarque un moyen commode de calculer le rendement. En effet, dans le tableau I, le rendement a été calculé par la formule

$$100 \times \frac{T_u}{T_m} = \frac{0,001138 \times np}{0,00349 N_e (P - P')},$$

ou, en remplaçant la vitesse de l'arbre de couche par celle de la génératrice,

$$100 \frac{T_u}{T_m} = \frac{0,001138 \times 6,63 \times np}{0,00349 \times N(P - P')},$$

ou enfin, en prenant

$$\frac{p}{P - P'} = \frac{1}{3},$$

comme l'indique le tableau II,

$$100 \times \frac{T_u}{T_m} = \frac{n}{N} \times 0,72.$$

relation conforme aux indications du tableau I.

Ces remarques sont importantes, car elles montrent que les résultats prévus par la théorie ont été vérifiés par les expériences de Grenoble et elles montrent aussi le degré de confiance que l'on peut accorder aux mesures prises par la commission.

SUR

LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION DE LA FORCE

EXPÉRIENCES FAITES A GRENOBLE

PAR M. MARCEL DEPREZ

(Note de M. BOULANGER.)

Dans une précédente communication, j'ai eu l'honneur de faire connaître à l'Académie les résultats des mesures dynamométriques effectuées au sujet des expériences faites à Grenoble par M. Marcel Deprez, sur le transport de la force. La présente note est relative aux mesures électriques et aux expériences concernant la distribution.

Pendant toute la durée des expériences, deux galvanomètres à arête de poissons (système Marcel Deprez) étaient intercalés dans le circuit, l'un à Grenoble, l'autre à Vizille, et ces deux instruments indiquèrent constamment que la différence des intensités aux deux extrémités de la ligne était peu considérable. Malheureusement, ces appareils ne comportent pas une très grande précision dans les lectures, de sorte que, pour déterminer exactement la valeur des pertes par la ligne, on dut avoir recours à la méthode chimique.

Deux voltamètres formés de plaques d'argent pur plongeant dans une dissolution d'azotate d'argent furent

placés aux extrémités de la ligne. Les plaques avaient environ un décimètre carré de surface et le courant était fourni par la machine génératrice de Vizille. A Grenoble, le circuit était fermé par une résistance inerte. Comme ces expériences étaient destinées à opérer en même temps le tarage des galvanomètres, ceux-ci étaient placés à côté de chaque voltamètre.

Deux expériences furent faites en changeant la vitesse de la machine et l'on obtint les résultats contenus dans le tableau ci-dessous :

[illegible]	[illegible]	Poids de l'électrode positive avant l'expérience.	Poids de l'électrode positive après l'expérience.	Différence des poids p.	Durée de l'expérience en secondes t.	Intensité $\frac{p}{0,001118 : t} = I$.	Force électromotrice de la machine E.	Différence de potentiel aux bornes $E - RI = U$.	Observations
		gr	gr	gr		amp	volts	volts	
1	Vizille . .	39,43959	26,20184	13,23775	3600	3,268	2808	627	Le nombre 0gr,00[illegible] pris pour le poids [illegible] gent déposé par Am[illegible] et par seconde [illegible] donné par M. Ma[illegible]
	Grenoble . .	39,78262	27,22920	12,55342		3,099			
2	Vizille . .	36,03719	27,32190	8,71529	2205	3,514	3128	2934	
	Grenoble . .	34,68220	26,54200	8,14020		3,282			

Pour déterminer la valeur de E, on admit, ce qui avait été vérifié sur les mêmes machines, dans les expériences faites aux ateliers du chemin de fer du Nord, que la force électromotrice est proportionnelle à la vitesse N, pourvu que l'intensité ne varie pas. Une série de douze expériences faites en intercalant des résistances variables dans le circuit de la génératrice, permit de construire une courbe ayant pour abscisses les valeurs de I et pour ordonnées les valeurs de $\frac{E}{N}$ correspondantes. On put ensuite à l'aide de cette courbe, déduire facilement la

force électromotrice de la vitesse de l'anneau, pour toutes les autres expériences.

Il résulte du tableau qui précède que, dans la première expérience, la perte d'intensité fut de 5,1 p. 100. Dans la deuxième expérience, où la différence de potentiel aux bornes était d'environ 3.000 volts, la perte fut de 6,6 p. 100.

Les autres mesures électriques portèrent sur un ensemble d'environ quarante expériences et permirent, en se servant de l'intensité moyenne, de calculer les valeurs $\frac{\mathrm{EI}}{75g}$ et $\frac{ei}{75g}$ des travaux électriques (*), ainsi que le rendement électrique $\frac{e}{\mathrm{E}}$. Le résultat de ces calculs montre que le rendement électrique différait assez peu du rendement mécanique. On trouve, en effet, pour la moyenne du rapport des deux rendements, le nombre 0,82.

En outre, la comparaison des travaux électriques et des travaux mécaniques montre que le coefficient de transformation de la génératrice est très voisin de l'unité, de telle sorte que le déficit provenait presque exclusivement de la réceptrice.

Une deuxième partie des expériences a porté sur la distribution. Les machines réceptrices dont on disposait consistaient en trois machines Siemens et deux machines Gramme, type d'atelier. Toutes ces machines étant à gros fil, on dut employer comme génératrice une machine également à gros fil; c'était une machine Gramme dont les inducteurs avaient été renforcés et disposés en

(*) La force électromotrice e de la réceptrice était déduite de E par la relation $e = \mathrm{E} - \mathrm{AI}$, A étant la résistance totale $\mathrm{R} + r + \rho$, comprenant les machines et la ligne.

double enroulement (système Marcel Deprez). Le courant constant était fourni par une deuxième machine servant d'excitatrice et les deux machines étaient mises en mouvement au moyen d'une locomobile qui permit de maintenir la génératrice à la vitesse nécessaire pour que la différence de potentiel à ses bornes demeurât constante.

Des deux bornes de la génératrice partaient deux fils parallèles sur lesquels venaient se brancher les dérivations des machines. La différence de potentiel aux bornes était mesurée par un galvanomètre résistant placé en dérivation. Un deuxième galvanomètre semblable permettait de mesurer la différence de potentiel à l'extrémité de la ligne. Enfin les intensités étaient mesurées par un galvanomètre à gros fil, de résistance négligeable.

De plus, chaque machine était munie d'un frein de Carpentier, portant une charge constante de 2 kilogrammes. Les poulies des freins ayant 1 mètre de circonférence, le travail par seconde était donné en kilogrammètres par l'expression $\frac{2n}{60} = \frac{n}{30}$, n étant le nombre de tours par minute.

On fit les mesures en embrayant les machines l'une après l'autre; on eut alors une série de cinq expériences, dont les résultats sont donnés par le tableau ci-dessous :

par minute de la génératrice.	DIFFÉRENCE de potentiel		RÉCEPTRICE n° 1.		RÉCEPTRICE n° 2.		RÉCEPTRICE n° 3.		RÉCEPTRICE n° 4.		RÉCEPTRICE n° 5.		TRAVAIL TOTAL.	INTENSITÉ TOTALE.	OBSERVATIONS.
	aux bornes de la génératrice.	à l'extrémité de la ligne.	Travail par seconde.	Intensité.	Travail par seconde.	Intensité.	Travail par seconde.	Intensité.	Travail par seconde.	Intensité.	Travail par seconde.	Intensité.			
	volts	volts	kgm	amp	kgm	amp	kgm	amp	kgm	amp	kgm	amp	kgm	amp	
30	39,4	39,1	18,0	9,7	»	»	»	»	»	»	»	»	18,0	9,7	La charge de chaque frein était de 2 kilog.
70	39,0	38,8	18,9	9,9	19,6	11,3	»	»	»	»	»	»	38,5	21,2	
38	39,3	39,1	18,6	9,9	19,5	11,3	42,5	18,3	»	»	»	»	80,6	39,5	
38	39,0	38,8	17,6	9,9	19,1	11,5	40,0	17,5	39,5	19,0	»	»	116,2	57,9	
69	39,1	39,1	18,5	9,5	18,7	10,6	40,0	17,2	34,7	18,6	35,3	19,3	147,2	75,2	

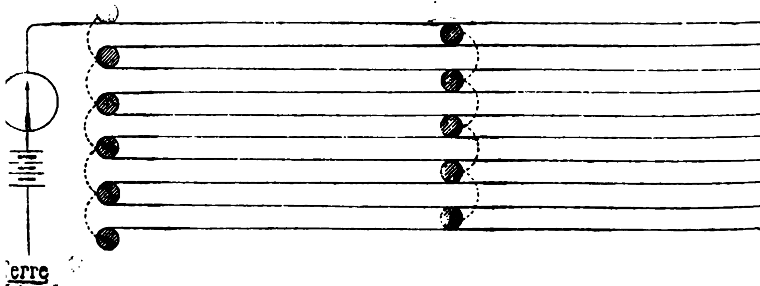
On voit par ce tableau que, pour une machine, le travail produit et l'intensité du courant n'ont pas varié d'une manière notable; les machines étaient donc indépendantes les unes des autres, et il y avait bien réellement distribution.

NOTE

RELATIVE AUX PERTES D'ÉLECTRICITÉ

LE LONG DES FILS TÉLÉGRAPHIQUES.

On s'imagine, parfois, qu'à cause du faible potentiel de l'électricité qui circule sur les fils télégraphiques aériens pendant les transmissions, il ne se produit pas, par l'air, de pertes sensibles. Les expériences suivantes que j'ai faites aux mois d'avril et de mai 1883 montrent que par la pluie ou par un temps très humide, il y a une perte notable par l'air le long des fils



Dans la première expérience, faite e 8 avril ar u temps de grande pluie, seize isolateurs à double cloche étant disposés, ainsi que l'indique la figure, sur trois traverses horizontales, j'ai posé sur eux un fil de 3 millimètres, dont la partie AB était reliée à chacun d'eux par du fil à ligature entourant le col. L'extrémité A de ce

fil communiquait par l'intermédiaire d'un galvanomètre de Thomson, à miroir, très sensible, à une pile constante valant environ 150 éléments Callaud, et l'autre était isolée. Dans ces conditions, la perte par le fil et les isolateurs donnait lieu à déviation de 44°, le shunt de l'appareil étant au 1/1000e. J'ai ensuite fait couper le fil de fer en B et enlever toute la partie au delà de ce point, ne conservant que la section AB (ce qui n'a demandé que quelques minutes de temps), alors la perte était représentée au galvanomètre par une déviation de 34° seulement, le shunt étant toujours au 1/1000e. Dans les deux cas, la perte étant la même par les isolateurs, la diminution de perte, lors de la seconde expérience ne peut être attribuée qu'à la suppression des neuf-dixièmes du fil qui existait sur les appuis lors du premier essai. Il y avait donc une perte par l'air le long du fil.

Comme on pourrait, à l'expérience précédente, objecter que je ne me suis pas assuré que dans l'intervalle des deux mesures de pertes, il n'y avait pas eu de modifications dans l'état général de l'atmosphère; j'en ai fait le 12 mai, par un temps également pluvieux, une autre qui me paraît à l'abri de toute critique.

Le fil AB étant relié aux mêmes isolateurs que précédemment et de la même manière, j'ai observé sur le galvanomètre Thomson la déviation produite par les pertes; cette déviation était de 51°, le shunt étant au 1/100e. J'ai ensuite accroché au fil AB un cadre formé de fils de même diamètre et ayant une longueur environ neuf fois plus grande. La perte de l'ensemble produisait alors une déviation de 68°, le shunt étant toujours au 1/100e. Ce cadre a été aussitôt enlevé et les choses ramenées à ce qu'elles étaient primitivement. J'ai mesuré de nouveau la perte qui a été trouvée de 51°, le shunt étant toujours

au 1/100ᵉ. Il résulte de là que, dans les trois expériences, l'état atmosphérique n'a pas changé et par suite que l'augmentation de perte observée dans la seconde est due à la perte qui s'est produite par l'air le long des fils du cadre qui, pour cet essai, a été ajouté au fil AB. On peut donc conclure que lorsqu'il pleut, ou que le temps est très humide, il y a des pertes le long des fils aériens, en outre de celles qui se produisent par les isolateurs.

En représentant par l l'isolement total de la longueur AB du fil, par P l'isolement total de tous les isolateurs reliés à ce fil, on trouve, par un calcul simple que l'on a approximativement dans le cas de la seconde expérience

$$l = 26P,$$

en supposant que la résistance de la pile et celle du galvanomètre peuvent être négligées.

Le nombre de ces isolateurs étant de 16 et AB ayant 25 mètres de long, il en résulte que si l'_3 et P′ représentent les isolements respectifs de 1.000 mètres de fil et d'un isolateur, on a

$$l'_3 = \frac{13}{320} P'.$$

Dans le cas où il y a 14 poteaux par kilomètre de ligne, si P″ désigne l'isolement total de tous les points d'appui, on a

$$l'_3 = 0{,}569 \times P''.$$

Ainsi, dans ce cas particulier, la perte par le fil était environ le double de celle par les isolateurs. Ces derniers étaient propres à l'intérieur, ce qui a rarement lieu sur les lignes, où alors la perte par les isolateurs est beaucoup plus grande, mais celle par les fils n'en existe pas moins.

Dans le cas actuel, les constantes ayant été déterminées par la méthode ordinaire, j'ai trouvé, en faisant usage des relations précédentes :

$$l = 3274^{\Omega},4,$$
$$P = 125^{\Omega},9,$$
$$l_3 = 81^{\Omega},84,$$
$$P' = 2014^{\Omega},4,$$
$$P'' = 143^{\Omega},8.$$

La perte par l'air étant proportionnelle à la surface ou au diamètre de ce fil, la résistance représentant son isolement par rapport à l'air, est en rapport inverse de ce même diamètre.

Par suite, pour les fils de 4 millimètres et de 5 millimètres, on aurait eu, dans le cas où je m'étais placé lors de ma seconde expérience :

$$l'_4 = 81^{\Omega},84 \times \frac{3}{4} = 61^{\Omega},36,$$
$$l'_5 = 81^{\Omega},84 \times \frac{3}{5} = 49^{\Omega},10.$$

Ces isolements qu'on peut considérer, je crois, comme des plus faibles qu'on puisse avoir pour des pertes le long des fils, sont de 4 fois supérieurs à 10Ω, isolement kilométrique à partir duquel on admet qu'une ligne télégraphique est très bonne.

Les pertes par l'air ordinaire ne doivent donc jamais nuire aux transmissions. Quand le travail est impossible par suite de pertes, les isolateurs doivent en être la cause. Sur les bords de la mer, la perte le long des fils doit être plus forte à cause des vapeurs salines qui sont dans l'air.

LAGARDE.

SUR

LES CONDITIONS DE SENSIBILITÉ

DU PONT DE WHEATSTONE.

Dans le numéro de *mai-juin*, j'ai montré que, si l'on se donne la somme des résistances des quatre côtés d'un pont de Wheatstone, l'arrangement le plus sensible lorsqu'on vient à déroger infiniment peu et d'ailleurs d'une manière quelconque à la condition d'équilibre $a \times x = b \times c$ est celui dans lequel les quatre côtés du quadrilatère ont la même résistance.

Lorsqu'on se propose d'employer le pont en vue de la mesure d'une résistance déterminée formant l'un des côtés du quadrilatère, le problème de la recherche des conditions de sensibilité, en ce qui concerne les meilleures valeurs à donner aux résistances des trois autres côtés, se pose en général d'une manière différente ; car l'expérimentateur est libre de donner à ces côtés des valeurs complètement arbitraires en débouchant des chevilles dans les rhéostats qui les constituent, et rien ne l'oblige la plupart du temps à maintenir constante la somme des résistances des quatre branches. On doit se demander quel est alors l'arrangement le plus sensible.

La question a été traitée par M. Oliver Heaviside dans le journal *The Electrician* (numéro du 15 février 1879). Voici les considérations sur lesquelles repose son analyse.

Soient

x la résistance à mesurer;
a, b, c les résistances des trois autres côtés du quadrilatère (*);
E et p la force électromotrice et la résistance de la pile;
g la résistance du galvanomètre;
i l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre.

On sait qu'il existe entre ces huit quantités la relation suivante qu'on peut déduire, par exemple, des équations de Kirchoff :

$$i = \frac{E\,\dfrac{ax - bc}{a+b+c+x}}{\left[\dfrac{(a+b)(c+x)}{a+b+c+x} + g\right]\left[\dfrac{(a+c)(b+x)}{a+b+c+x} + p\right] - \left(\dfrac{ax - bc}{a+b+c+x}\right)^2}.$$

L'auteur définit d'abord, ainsi qu'il suit, le mot *sensibilité*. Supposons que, au moment où l'on a obtenu un équilibre aussi parfait que possible, la résistance x subisse une variation et devienne $x(1+\varepsilon)$, ε étant une fraction infiniment petite. Il passera alors dans le galvanomètre un courant dont l'intensité est donnée par la formule précédente. Il est clair qu'un arrangement A sera plus sensible qu'un arrangement B, si, dans A, le changement de x en $x(1+\varepsilon)$ détermine le passage dans le galvanomètre d'un courant plus fort que dans B. D'ailleurs, l'importance de l'erreur commise sur la valeur de x s'estime par le rapport $\frac{\varepsilon x}{x} = \varepsilon$. Il résulte de là que la sensibilité est maxima lorsque le changement de x en $x(1+\varepsilon)$ donne naissance au courant maximum dans la branche du galvanomètre; car, plus ce courant est fort, plus est grande l'approximation qu'on peut

(*) On suppose, dans ce qui suit, que, en partant d'un sommet relié à la pile, les côtés du quadrilatère se succèdent dans l'ordre a, c, x, b.

atteindre par le réglage, et, s'il est insensible, comme cela a lieu dans un arrangement grossier, il faut renoncer à pousser plus loin l'exactitude.

Ceci posé, soit y la quatrième résistance qui fait exactement équilibre à a, b, c, c'est-à-dire qui satisfait à la relation $a \times y = b \times c$, et supposons que $x = y(1 + \varepsilon)$. Nous avons alors, en éliminant a,

$$i = \frac{E\frac{bc\varepsilon}{P}}{\left[\frac{b(c+y)(c+x)}{P}+g\right]\left[\frac{c(b+y)(b+x)}{P}+p\right]-\left(\frac{bc\varepsilon y}{P}\right)^2},$$

en posant $P = b(c+y)+y(c+x)$. Lorsque $\varepsilon = 0$, nous avons $y = x$, $i = 0$, et l'équilibre parfait $a \times x = b \times c$.

Donnons maintenant à b et c des valeurs différentes b' et c', et soit i' l'intensité du nouveau courant qui traverse le galvanomètre. L'expression de i' se déduit de celle de i en changeant b en b' et c en c'. Le quotient $\frac{i}{i'}$ représente le rapport des sensibilités des deux arrangements, lorsque $\varepsilon = 0$, c'est-à-dire lorsque l'équilibre est parfait dans chaque cas.

En divisant donc i par i', et faisant $y = x$, ou $\varepsilon = 0$, nous trouvons

$$\frac{i}{i'} = \frac{\frac{bc}{[b(c+x)+g(b+x)][c(b+x)+p(c+x)]}}{\frac{b'c'}{[b'(c'+x)+g(b'+x)][c'(b'+x)+p(c'+x)]}}.$$

Il résulte de là que la sensibilité d'un équilibre quelconque est proportionnelle à l'expression

$$\frac{bc}{[b(c+x)+g(b+x)][c(b+x)+p(c+x)]}.$$

L'équilibre le plus sensible peut maintenant se trouver par les règles ordinaires du calcul différentiel, en traitant b et c comme deux variables indépendantes. On trouve

ainsi

$$\text{(A)} \quad a=\sqrt{pg}, \quad b=\sqrt{\frac{gx}{g+x}(p+x)}, \quad c=\sqrt{\frac{px}{p+x}(g+x)}.$$

Voici donc la règle pour déterminer l'équilibre le plus sensible avec un galvanomètre et une pile de résistances données. Faites $a=\sqrt{pg}$. Ce côté doit rester invariable, quelles que soient les résistances à mesurer. Cherchez approximativement x. Donnez alors à b la valeur $\sqrt{\frac{gx}{g+x}(p+x)}$ ou une valeur voisine, et rendez l'équilibre aussi parfait que possible en réglant c. Alors $x=\frac{bc}{a}$.

Ayant trouvé l'équilibre le plus sensible, nous pouvons estimer la sensibilité relative de tout autre équilibre, pourvu que la pile et le galvanomètre restent les mêmes. Soit ρ le rapport de la sensibilité d'un équilibre quelconque $a\times x=b\times c$ à la sensibilité de l'arrangement le plus sensible. ρ est ce qu'on peut appeler le rapport ou le coefficient de sensibilité. On a alors

$$\rho=\frac{[\sqrt{gx}+\sqrt{px}+\sqrt{(p+x)(g+x)}]^2}{\left(c+g+x+\frac{gx}{b}\right)\left(b+p+x+\frac{px}{c}\right)}.$$

ρ est une quantité comprise entre 0 et 1, qui devient égale à 1 pour l'équilibre le plus sensible.

M. Heaviside a calculé un certain nombre d'exemples numériques pour montrer la variation de sensibilité pour différents équilibres. En supposant $x=4000$, $g=1000$, $p=90$, il a obtenu les nombres suivants :

a	b	c	ρ
1	1	4.000	0,003
10	10	4.000	0,029
100	100	4.000	0,24
1.000	1.000	4.000	0,75
10.000	10.000	4.000	0,88

1	10	400	0,025
10	100	400	0,219
100	1.000	400	0,90
1.000	10.000	400	0,58
10	1	40.000	0,0024
100	10	40.000	0,027
1.000	100	40.000	0,14
10.000	1.000	40.000	0,203
100	1	400.000	0,0029
1.000	10	400.000	0,015
10.000	100	400.000	0,027
300	1.800	666 $^2/_3$	1 sensiblement

L'auteur fait remarquer judicieusement que l'arrangement le plus sensible n'est pas toujours le plus avantageux. Par exemple, si l'on cherche à obtenir l'équilibre en réglant c, et que la moindre variation de résistance que l'on puisse produire dans cette branche soit d'un ohm, il peut être avantageux de faire le rapport de a à b, et celui de c à x égaux à 10. En effet, s'il en résulte une diminution de sensibilité, en revanche une variation de 1 ohm dans x correspond à une variation de 10 ohms dans c, et, par suite, x peut être évalué à un dixième d'ohm près sans calcul. Mais, si la résistance du conducteur c peut varier par dixièmes ou par centièmes d'ohm, comme cela a lieu en employant un fil divisé avec contact glissant, ou un conducteur en arc multiple, etc, il serait illusoire d'attendre une plus grande approximation de l'emploi du rapport 10, car la limite de la précision ne dépend que de la possibilité de reconnaître le passage dans le galvanomètre d'un courant aussi faible que possible, c'est-à-dire ne dépend que de la sensibilité.

M. Heaviside a étudié également le cas où les résistances qui constituent les quatre côtés du quadrilatère sont astreintes à des conditions données, et il énonce les résultats suivants :

Lorsque la somme $a+b$ est maintenue constante, ainsi que la somme $c+x$, l'arrangement le plus sen-

sible est celui qui correspond aux égalités $a = c$ et $b = x$.

Lorsque la somme $a + b$ doit rester invariable, ainsi que la somme $a + x$, on obtient le maximum de sensibilité lorsque $a = b$ et $c = x$.

Enfin, si la somme $a + b + c + x$ est invariable, il convient de faire $a = b = c = x$. Ce résultat est celui auquel je suis arrivé par une voie différente (*Ann. tél.* 1883, p. 225).

Revenons maintenant au cas le plus général, où les résistances des côtés du quadrilatère peuvent être choisies arbitrairement, et soit a, b, c un système de valeurs satisfaisant à la relation $a \times x = b \times c$. On sait que les meilleures résistances à attribuer au galvanomètre et à la pile sont données par les formules

$$\text{(B)} \qquad g = \frac{(a+b)(c+x)}{a+b+c+x}, \quad p = \frac{(a+c)(b+x)}{a+b+c+x}.$$

Les groupes de relations (A) et (B) fournissent cinq équations permettant de déterminer les cinq résistances a, b, c, p, g. On aura donc l'équilibre le plus sensible de tous ceux qu'on puisse imaginer en adoptant la solution de ce système d'équations. On est ainsi conduit à faire

$$a = b = c = p = g = x.$$

Ces conditions sont la plupart du temps irréalisables, car on ne peut faire varier p et g de manière à leur attribuer, dans chaque cas particulier, une valeur égale à celle de la résistance à mesurer. Toutefois, elles doivent être prises en considération, lorsqu'on se propose de réaliser l'installation d'un pont destiné à mesurer successivement un certain nombre de résistances sensiblement égales entre elles. L. Thévenin.

CHRONIQUE.

Exposition internationale d'électricité, de machines et appareils électriques à Philadelphie, Pennsylvanie (*Amérique du Nord*).

Le président et les membres du Franklin Institut de l'État de Pennsylvanie ont l'honneur de porter à la connaissance et à l'attention de toutes les personnes de l'univers entier qui s'intéressent à la propagation et à l'application de l'électricité, qu'une exposition internationale d'électricité, de machines et d'appareils électriques, aura lieu à Philadelphie.

L'ouverture est fixée au 2 septembre 1884.

La haute et éminente réputation dont jouit le Franklin Institut encouragera tous ceux qui sont animés des progrès de la science, à apporter leur concours à l'intérêt spécial et au succès de cette exposition, organisée sous les auspices et patronage du Franklin Institut, et consacrée à augmenter l'importance scientifique et industrielle des branches qui s'y rattachent, qui se sont découvertes et développées si rapidement aux États-Unis. Le caractère international de cette exposition trouvera un grand appui dans le monde entier, et tous les amis du progrès des sciences et des arts y concourront certainement avec chaleur et enthousiasme.

A cet effet, un projet de loi a été soumis au congrès, à Washington, qui l'a voté à l'unanimité, et a été approuvé, promulgué et décrété par le Président de la République des États-Unis.

Exposé de la loi votée :

« Le Franklin Institut de l'État de Pennsylvanie pour l'encouragement des arts mécaniques propose d'ouvrir une exposition internationale d'électricité, d'appareils et machines

électriques, instruments, outils et généralement tout ce qui est nécessaire et utile aux progrès de la fabrication et aux recherches de la science. En conséquence, pour encourager par tous les moyens possibles le succès d'une semblable exposition pour servir au progrès et à la propagation des connaissances scientifiques :

« Le sénat et la chambre des députés, réunis en congrès, ont voté :

« 1° Que tous les articles qui seront importés dans le but de figurer à l'exposition qui sera ouverte sous les auspices et patronage du Franklin Institut de l'État de Pennsylvanie pour l'encouragement des sciences et des arts mécaniques en 1884, dans la ville de Philadelphie, seront admis en franchise de tous droits de douane ou autres frais, et conformément aux règlements qui seront prescrits par le secrétaire du Trésor, pourvu que les articles, en cas de retard de l'exposition, pour être vendus ou livrés à la consommation aux États-Unis, soient soumis aux droits de la douane, si ces articles y sont imposés à la date de leur importation ;

« 2° Dans le cas où les articles importés sous le bénéfice de la susdite loi seraient retirés de l'exposition, pour être vendus ou livrés à la consommation, sans que les droits imposés eussent été acquittés, toutes les pénalités prescrites par la loi seraient appliquées en toute rigueur, avec recours, s'il y a lieu, contre qui de droit. »

Tous les efforts seront faits par le Franklin Institut, et rien ne sera épargné pour assurer une large et importante représentation aux progrès accomplis dans les pays étrangers, et les dispositions les plus libérales seront prises pour que les exposants européens et d'autres pays, aussi bien que les Américains, soient traités sur un pied d'égalité absolue.

L'électricité et ses applications attirent maintenant l'attention du monde entier, et les expositions simultanées des inventions les plus importantes de l'Europe et de l'Amérique ne peuvent manquer d'être instructives au plus haut degré.

Tous les renseignements relatifs aux règles et mesures de l'exposition adoptées par le Franklin Institut, ainsi que ceux relatifs aux envois, transports, expéditions, réceptions, formatités en douane et enfin tous autres généralement quelconques

qui pourraient être utiles et nécessaires aux exposants, devront être demandés directement au secrétaire général, qui s'empressera de les transmettre dans le plus bref délai possible.

Le secrétaire général,
William H. Wahl.

Le président de la Franklin Institut,
William P. Tatham.

Tous renseignements, lettres, demandes devront être adressés au secrétariat général, Palais de l'Institut, n° 15, S., 7 th Street, Philadelphie.

Expérience d'un aérostat électrique à hélice par MM. A. et G. Tissandier.

(Note de M. G. Tissandier.)

La construction de l'aérostat électrique à hélice, que nous avons expérimenté, mon frère et moi, le 8 octobre 1883, a compris celle de trois appareils distincts : 1° l'aérostat proprement dit ; 2° l'appareil à gaz qui sert à le gonfler ; 3° le moteur électrique destiné à lui donner le mouvement en actionnant une hélice de propulsion.

La description de notre moteur électrique et celle de notre batterie légère à grand débit, formée de 24 éléments de piles à bichromate de potasse, ont été précédemment communiquées à l'Académie : nous parlerons plus spécialement aujourd'hui de l'aérostat et de l'appareil à gaz.

L'aérostat électrique, qui a été construit par mon frère Albert, a une forme semblable à celle des ballons de M. H. Giffard et de M. Dupuy de Lôme. Il a 28 mètres de longueur de pointe en pointe, et $9^m,20$ de diamètre au milieu. Il est muni, à sa partie inférieure, d'un cône d'appendice terminé par une soupape automatique. Son volume est 1060 mètres cubes.

Une housse de suspension remplace le filet ordinaire; elle est formée de rubans, cousus à des fuseaux longitudinaux et maintenus dans la position géométrique qu'ils doivent occuper par deux brancards latéraux flexibles qui empêchent toute déformation du système.

La nacelle est une véritable cage parallélipipédique, construite à l'aide de bambous, consolidés par des cordes et des fils de cuivre recouverts de gutta-percha, qui passent dans la vannerie inférieure. Les cordes de suspension sont reliées entre elles par une couronne horizontale qui supporte d'un côté les engins d'arrêt, de l'autre le gouvernail, et répartit également les tractions à la descente.

Le gonflement de l'aérostat a été opéré le 8 octobre, en sept heures de temps, au moyen de notre grand appareil à production continue du gaz hydrogène pur. Cet appareil comprend quatre générateurs, formés de tuyaux en grès, de fabrication Doulton. La réaction s'opère par voie humide, en décomposant l'eau sous l'influence du fer et de l'acide sulfurique. Le liquide, tout préparé à l'avance dans de grands réservoirs, arrive à la partie inférieure des générateurs; après avoir traversé une grande masse de tournure de fer, sans cesse renouvelée au fur et à mesure de sa dissolution, il s'échappe au dehors, à l'état de sulfate de fer. L'épuration de l'hydrogène est faite au moyen d'un laveur et de deux récipients cylindriques, contenant de la soude caustique et du chlorure de calcium calciné. Nous produisons ainsi un gaz presque tout à fait pur, qui n'a pas moins de 1180 grammes de force ascensionnelle par mètre cube, résultat qui n'avait jamais été obtenu jusqu'ici dans les préparations aérostatiques.

L'aérostat électrique, avec son moteur pouvant fonctionner trois heures, et tous ses accessoires, pèse 704 kilogrammes. En montant dans la nacelle, mon frère et moi, nous avons emporté une quantité de lest considérable, du poids de 386 kilogrammes. Cet excès de force ascensionnelle, dû à la bonne préparation du gaz, nous aurait permis d'avoir un propulseur deux fois plus puissant que celui dont nous nous servions.

Nous nous sommes élevés lentement de notre atelier d'Auteuil, à 3h20m du soir, par un faible vent est-sud-est. A terre, le vent était presque nul; mais, comme cela se présente sou-

vent, il augmentait de vitesse avec l'altitude, et, à 500 mètres de hauteur, il atteignait une vitesse de 3 mètres à la seconde.

Quelques minutes après le départ, nous avons fait fonctionner notre moteur électrique à l'aide de notre batterie divisée en quatre auges de 6 éléments; un commutateur à godets de mercure nous permet de faire fonctionner à volonté 6, 12, 18 ou 24 éléments montés en tension, et d'obtenir ainsi quatre vitesses différentes de l'hélice variant de 60 à 180 tours à la minute. Cette dernière vitesse correspond à un travail de 100 kilogrammètres. Dès que nous avons fait fonctionner notre moteur à grande vitesse, la translation de l'aréostat, par rapport à l'air ambiant, est devenue subitement appréciable, et nous avons immédiatement ressenti l'action d'un vent frais produit par notre déplacement horizontal. Quand l'aérostat faisait face au vent, il tenait tête au courant aérien et restait immobile, ce que nous constations en prenant sur le sol des points de repère au-dessous de notre nacelle. Malheureusement l'aréostat ne gardait pas longtemps cette position favorable; il se trouvait tout à coup soumis à des mouvements gyratoires que le jeu du gouvernail était impuissant à maîtriser complètement. Malgré ces rotations, que nous trouverons le moyen d'éviter dans des expériences ultérieures nous avons recommencé la même manœuvre pendant plus de vingt minutes, ce qui nous a permis de stationner au-dessus du bois de Boulogne

Après avoir procédé aux expériences que nous venons de décrire, nous avons arrêté le moteur, et l'aérostat a passé au-dessus du Mont-Valérien. Dès qu'il eut bien pris l'allure du vent, nous avons recommencé à faire tourner l'hélice; en descendant le courant aérien, la vitesse de l'aérostat s'est trouvée aussitôt accélérée; par le jeu du gouvernail, nous obtenions alors des déviations à droite et à gauche de la ligne du vent.

A 4^h35^m nous avons opéré notre descente dans le voisinage de Croissy-sur-Seine, et l'atterrissage a été exécuté dans les meilleures conditions. L'aérostat est resté gonflé toute la nuit sans perdre de gaz, et il a été dégonflé le lendemain.

Nous ajouterons, en terminant, que notre ascension du 8 octobre doit être considérée seulement comme une expé-

rience d'essai préliminaire; nous avons le projet de la renouveler avec les améliorations que comporte notre matériel.

(Comptes rendus.)

Nouveau mode d'isolement des fils métalliques employés dans la télégraphie et la téléphonie.

(Note de M. C. WIDEMANN.)

Ayant eu l'occasion, depuis une année, d'appliquer, pour la décoration d'objets de bijouterie et de mode, les procédés signalés par Nobili et Becquerel pour obtenir les colorations au moyen de bains de plombates et de ferrates alcalins, j'ai observé que les pièces ainsi colorées étaient devenues absolument résistantes à toute action galvanique, c'est-à-dire que leurs surfaces, une fois recouvertes de peroxyde de plomb ou de fer, étaient isolées et ne conduisaient plus le courant électrique. Un fil de cuivre ou de laiton, et même de fer, se trouve ainsi recouvert d'une couche isolante, analogue à celle d'une couche de résine ou de gutta.

Il y a là, je crois, une application facilement utilisable dans la confection des câbles ou fils employés dans la Télégraphie et la Téléphonie.

Le moyen d'obtenir cette couche isolante est très pratique, au point de vue industriel, et le coût fort minime; la durée de cette couche, très résistante aux diverses actions atmosphériques, est une garantie de durée. L'isolement est absolu.

Le mode de préparation est fort simple : il suffit de préparer un bain de plombate de potasse, en faisant dissoudre 10 grammes de litharge dans un litre d'eau à laquelle on a ajouté 200 grammes de potasse caustique, et de faire bouillir pendant une demi-heure environ; on laisse reposer, on décante, et le bain est prêt à fonctionner. On attache, au fil *positif*, le fil métallique à recouvrir de peroxyde de plomb, et l'on plonge dans le bain une petite anode de platine au pôle négatif; du plomb métallique très divisé se précipite au

pôle négatif, et le peroxyde de plomb se porte sur le fil métallique, en passant successivement par toutes les couleurs du spectre ; l'isolement n'est parfait que lorsque le fil est arrivé à la dernière teinte, qui est d'un brun noir.

Le fil ainsi recouvert est parfaitement insensible à l'action électrique; on peut y attacher des objets parfaitement décapés et les porter au pôle négatif d'un bain de dorure, d'argenture, de nickelage, sans que le courant, si puissant qu'il soit, ait une action sur les pièces à recouvrir de métal; un tel fil, placé dans un courant et mis en contact avec un autre fil en rapport avec un galvanomètre, laisse celui-ci parfaitement insensible; il n'y a aucune déperdition du premier courant, qui passe par le fil recouvert de peroxyde.

J'ai pensé que cet isolement parfait pouvait être utilisé par les électriciens, soit pour les boussoles, soit pour tous autres appareils ; c'est pourquoi j'ai l'honneur d'en faire part à l'Académie. Je me tiens à la disposition de ceux de ses membres qui désireraient contrôler ces résultats.

(*Comptes rendus.*)

Effets de la température sur la force électromotrice et la résistance des piles (*).

Par M. W. Preece.

La méthode consiste à charger un condensateur à travers un galvanomètre faiblement résistant et à mesurer l'impulsion reçue par ce dernier. En opérant successivement avec un Daniell étalon et avec la pile à étudier, on a une mesure de la force électromotrice. On relie ensuite les pôles de la pile par un Shunt de résistance connue r, et l'on provoque la décharge partielle du condensateur dont la différence de potentiel prend une valeur plus faible, dépendant de la dérivation r et de la résistance b de la pile. Si d et d' sont les déviations pour la charge et la décharge, la résistance est

(*) *Proceedings of the Royal Society*, vol. XXXV, p. 48, 1883.

donnée par la formule

$$b = r\frac{d'}{d-d'}.$$

La pile à étudier est placée dans un récipient cylindrique en cuivre contenant de l'eau et muni d'un couvercle qui laisse passer les rhéophores isolés et les tiges des thermomètres.

Les expériences ont porté sur la pile de Daniell, les piles au bichromate avec ou sans vase poreux et la pile Leclanché.

La force électromotrice du Daniell décroît d'abord rapidement, puis plus lentement, puis croît ensuite jusqu'au point d'ébullition de l'eau. Pendant le refroidissement, elle reste au contraire à peu près invariable. Cet effet paraît dû, au moins en partie, à des phénomènes thermo-électriques résultant de l'inégal échauffement des liquides intérieurs. La force électromotrice des piles au bichromate diminue quand la température s'élève, pouvant perdre jusqu'à 6 p. 100 de sa valeur dans la pile sans diaphragme et elle croît quand la température s'abaisse. Celle de l'élément Leclanché reste à peu près invariable.

La résistance du Daniell diminue d'abord rapidement, puis plus lentement quand la température s'élève. Elle est à 100° inférieure au tiers de sa valeur primitive. La résistance croît pendant le refroidissement plus vite qu'elle n'avait décrû. Elle reprend donc une valeur supérieure à sa valeur primitive et revient lentement à cette dernière après quarante ou cinquante heures. La résistance à toute température est beaucoup plus faible si l'on a soin de maintenir constamment le sulfate de cuivre au maximum de concentration.

Les résistances de la pile au bichromate et de la pile Leclanché diminuent aussi quand la température s'élève et augmentent quand elle s'abaisse; mais, contrairement à ce qui a lieu dans l'élément Daniell, il paraît se produire dans les piles au bichromate une diminution permanente de la résistance. Cet effet est d'ailleurs très faible; il ne se produit pas dans la pile Leclanché.

(*Journal de physique.*)

Les télégraphes pendant la guerre d'Égypte.

Il existait en Égypte, à l'époque où les opérations de 'armée anglaise ont commencé, trois réseaux télégraphiques : 1° les lignes de l'État égyptien ; 2° la ligne anglaise de l'Eastern telegraph Company; 3° la ligne de la compagnie du canal de Suez. Ces trois réseaux vivaient en assez mauvaise intelligence; l'armée anglaise les mit d'accord en s'emparant de tous les trois. On s'occupa d'abord de couper une communication qui permettait aux égyptiens de correspondre avec la Turquie par la ligne; cette entreprise tentée hardiment par trois officiers anglais échoua, les officiers furent tués au Puits-de-Moïse.

D'autre part, on assura au contraire les lignes constantes et on les compléta par un câble réunissant Alexandrie à Port-Saïd. Au commencement la station à Port-Saïd fut placée sur un navire ancré à 4 milles en mer. De nombreuses réparations furent nécessaires aux lignes égyptiennes et à celle du canal : le personnel de ce réseau était peu sympathique aux anglais. Lorsque l'armée fut à Ismaïla, les lignes furent mises sous la direction militaire; on eut peu de lignes à construire; le service des troupes consista surtout en réparations et en occupations militaires de postes. Des trois réseaux, l'un devait servir pour les chemins de fer, le second pour les échanges ordinaires, le troisième restait à la disposition du commandement. En réalité, on se servit des fils comme on put et au moment où ils étaient libres Il se trouva souvent que des trains de chemins de fer arrivèrent avant la dépêche qui les annonçait. Il est même bien surprenant qu'il ne soit pas arrivé plus d'accidents sur les lignes ferrées.

Il est curieux de constater que les anglais se servent encore de vieux télégraphes à aiguille, si complètement arriérés et oubliés aujourd'hui. L'armée aurait dû être munie d'appareils Morse assez nombreux pour remplacer ces engins anciens. Du reste, le colonel Webber qui dirigeait le service, se loue beaucoup des petits parleurs américains; ces petits appareils sont très rapides, très petits, se portent en poche sans difficulté, s'introduisent facilement dans une ligne pour intercepter une dépêche.

Dans l'installation des quelques lignes de campagne qu'on dut établir, on eut fort à souffrir de ce fait que les poteaux, mal assujettis, étaient très fréquemment renversés par les animaux; on fut amené à penser que les câbles enfouis à une faible profondeur, quand cela se pourrait, seraient préférables.

Le jour de la bataille de Tel-el-Kébir, les deux quartiers généraux étaient réunis avec les armées et avec le reste du pays par des lignes stables; dans l'armée anglaise, les corps d'armée en marche étaient reliés à l'aide de lignes volantes par les soins du corps des télégraphistes militaires.

On donne peu de détails sur les particularités de tout ce service; il y a lieu de croire qu'on n'en fut pas entièrement satisfait, car après la guerre on résolut en Angleterre une refonte de ce corps; la campagne, malgré sa brièveté, avait sans doute révélé des défauts sérieux : la nouvelle organisation doit bientôt entrer en action; il sera intéressant de l'étudier.

(*La lumière électrique.*)

Nécrologie.

CROMWELL VARLEY. — WERDERMANN. — ALFRED NIAUDET. — LOUIS BRÉGUET.

La science de l'électricité a été cruellement frappée depuis quelque temps, et c'est avec un vif chagrin que nous enregistrons la mort de MM. Cromwell Varley, Werdermann, Alfred Niaudet et Bréguet.

M. Cromwell Varley, né en 1828, était entré dès 1846 au service de l'Electric telegraph company, à laquelle il est resté fidèle jusqu'au moment du rachat des lignes télégraphiques par le gouvernement britannique. Il a puissamment contribué au développement de la télégraphie en Angleterre et a

pris une grande part aux études et aux travaux de construction des câbles transatlantiques de 1865 et 1866. Il n'a jamais cessé de s'occuper d'électricité et de télégraphie, soit comme ingénieur consultant auprès de différentes compagnies, soit par des travaux de cabinet. Il s'est longtemps occupé des moyens d'accroître le rendement des grandes lignes sous-marines; c'est à lui notamment qu'est due l'idée d'introduire de grands condensateurs qui, sans interrompre les transmissions télégraphiques, empêchent les courants terrestres de circuler dans le fil conducteur. On lui doit de nombreux perfectionnement dans le matériel télégraphique et des tables de calcul très utiles aux électriciens. Rappelons enfin qu'il a, en même temps que MM. Siemens et Wheatstone, eu l'idée d'employer dans les machines électro-magnétiques le courant même de la machine pour exciter les électro-aimants.

M. Werdermann, l'éminent ingénieur électricien, est né en 1828 en Silésie; il était venu s'installer à Paris, puis plus tard à Londres où il importa la machine Gramme, qu'il fit connaître en Angleterre et en Amérique. Parmi ces divers travaux en électricité, nous nous bornerons à citer la lampe électrique bien connue qui porte son nom.

Alfred Niaudet-Bréguet, membre de la Société de physique dont il a été pendant plusieurs années le trésorier, a été longtemps le collaborateur de la maison Bréguet. Il a contribué à développer en France les industries qui se rattachent à l'électricité, en même temps qu'il collaborait à diverses publications scientifiques et faisait paraître divers mémoires sur les machines dynamo-électriques, sur la téléphonie et la télégraphie. En 1870, il faisait partie de la mission technique attachée à l'armée du Rhin, mais, enfermé avec l'armée à Metz, il n'en sortit qu'au moment de la reddition de cette ville aux armées allemandes. Il a été administrateur de la Société générale des téléphones, de la Société d'éclairage électrique, etc. Depuis plus d'un an, il avait dû abandonner ses travaux et il s'est éteint après une longue et douloureuse maladie.

M. Louis Bréguet, membre de l'Académie des sciences et

du bureau des longitudes, est mort subitement dans la nuit du 26 au 27 octobre dernier. On sait la grande part qu'il a prise à la création des premières communications électriques en France, et notamment à la construction des appareils Foy-Bréguet qui reproduisaient les anciens signaux aériens de Chappe et offraient l'avantage précieux, au début de la télégraphie, de pouvoir fonctionner sans aucun changement dans le mode de manipulation soit avec un, soit avec deux fils. Pendant de longues années, il a été, en France, le seul constructeur d'appareils télégraphiques, dans lesquels il a introduit de nombreux perfectionnements. On lui doit divers modèles d'horloges, de chronographes, d'enregistreurs électriques; des appareils pour la détermination des longitudes, pour l'astronomie, etc. C'est de sa maison que sont sortis la plupart des habiles constructeurs qui exploitent à Paris l'industrie des appareils électriques.

Il a pris part à des travaux scientifiques importants parmi lesquels ses expériences faites avec Masson, en 1837, sur les bobines d'inductions sont restées célèbres.

La science perd en lui un de ces savants artistes qui rendent à l'industrie d'immenses services et sont souvent une providence pour les physiciens, les astronomes et surtout pour les inventeurs.

Louis Bréguet avait été cruellement frappé, il y a deux ans, par la mort de son fils, Antoine Bréguet, sur lequel se fondaient de si belles espérances. Il y a un mois à peine, il perdait son neveu et ancien collaborateur Niaudet : il restait seul à soutenir le nom de Bréguet, célèbre depuis plus d'un siècle.

BIBLIOGRAPHIE.

Dictionnaire d'électricité et de magnétisme, étymologique, historique, technique, avec la synonymie française, anglaise et allemande, par M. Ernest Jacquez, chargé de la bibliothèque scientifique et administrative au ministère des postes et télégraphes. (Librairie Klincksiek, 11, rue de Lille.)

Chaque science nouvelle entraîne, surtout lorsqu'elle entre dans le domaine de la pratique, l'introduction dans le langage de mots nouveaux dont il est indispensable de connaître la signification exacte lorsqu'on veut lire facilement les ouvrages qui s'y rapportent. Ces mots ont des origines diverses : les uns ont pour radical les noms des savants qui, par leurs travaux, ont contribué à l'avancement de la science; les autres sont tirés de termes usuels, différant dans les divers pays; ils sont d'ailleurs souvent accompagnés de préfixes qui changent leurs significations.

On comprend donc l'importance d'un dictionnaire technologique pour chaque science et en particulier pour celle de l'électricité qui a pris en peu de temps un si grand développement, et dont les applications industrielles ont pris un si grand développement.

C'est ce travail que M. Ernest Jacquez vient de faire avec un succès complet; nous n'avons pas besoin d'insister sur son incontestable utilité pour tous ceux qui s'occupent d'électricité.

Chaque mot français est accompagné, dans l'ouvrage de M. Jacquez, des termes correspondants anglais et allemand, et d'une notice explicative.

Le côté historique a été étudié avec soin par l'auteur qui s'est appliqué à fixer avec précision les dates et les auteurs des principales découvertes.

Il signale la formation défectueuse de certains mots dont

les radicaux sont empruntés à des langues différentes, *électromoteur* par exemple dont la première partie vient du grec et la seconde du latin.

Le livre de M. Jacquez sera accueilli avec la plus grande faveur par tous les électriciens et en particulier par les télégraphistes qui y trouveront la mention de tous les termes en usage dans leur service.

Le telephone, par M. A. Ternant, directeur et électricien de l'*Entern telegraph compagny*, à Marseille, (chez l'auteur et à la librairie Laffite à Marseille).

Ce travail est l'extension des conférences faites devant la *Société industrielle* à Marseille, par M. Ternant. Il contient de nombreux renseignements sur le fonctionnement des appareils téléphoniques, pour l'établissement des lignes qui les desservent, et des détails intéressants sur leur exploitation, dont l'importance s'accroît chaque jour.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1883 — Novembre-Décembre

RAPPORT

A MONSIEUR LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

SUR

LES ORIGINES DE LA GUTTA-PERCHA

ET SUR LA POSSIBILITÉ

DE L'ACCLIMATER DANS LA COCHINCHINE FRANÇAISE

Par M. SELIGMANN-LUI, sous-ingénieur des télégraphes.

Suite (*).[1]

De Prakim à Phnom-Penh.— La chaloupe nous conduisit à Petrew; là, les prêtres français de la mission nous prêtèrent deux canots à rames pour monter jusqu'à Prakim où commença le véritable voyage. Les éléphants et les charrettes, très promptement réunis par le gouvernement de Prakim qui avait hâte de se débarrasser de nous, étaient prêts le 25 février, à midi. Quoiqu'une demi-journée ne fût pas suffisante pour faire une étape

(1) Voir le numéro des *Annales* de septembre-octobre 1883.

complète, je préférai couper court à tout retard possible et me mettre immédiatement en marche. On partit donc, et on passa la nuit en pleine campagne près d'une mare dite Chanta-nong. Le lendemain une forte journée nous menait à Kabin; de là, à Pathrong, Sakao, Watana, Aram, Aram-Kao et Sisophon.

La marche était organisée de la manière suivante : à quatre heures, avant le jour, les hommes réveillés préparaient leurs repas, chargeaient les charrettes et se mettaient en route. On leur faisait prendre une demi-heure d'avance environ, puis les éléphants partaient à leur tour et marchaient d'une traite jusqu'à la halte, qui tombait d'ordinaire entre neuf et onze heures. Les bêtes étaient dételées et menées paître ; les éléphants baignés, si la chose se pouvait. A midi et demi ou une heure, on repartait jusqu'à l'étape que l'on atteignait généralement vers les cinq heures. Le chef du village était aussitôt prévenu du nombre de charrettes qu'il devait nous fournir, et les voitures venues avec nous n'étaient déchargées que quand il en était venu d'autres pour les remplacer ; si le relai faisait défaut, on gardait le lendemain les mêmes, reposées pendant la nuit. Faute d'avoir pris cette précaution dans le voyage de Kampot, il était arrivé plus d'une fois que les anciennes voitures, déchargées le soir, s'esquivaient pendant la nuit, et, bon gré mal gré, il nous fallait attendre les nouvelles fort peu pressées de venir. Puis on s'occupait de l'installation pour la nuit. Le chemin que nous suivions avait été parcouru peu de temps auparavant par une caravane nombreuse, comprenant un prince de la famille royale et des Anglais qui allaient reconnaître le tracé de la ligne télégraphique projetée entre Bankok et Battambang; en l'honneur de ces visiteurs illustres, on avait construit

presque partout de nouvelles salahs ou maisons d'abri ; nous nous empressâmes d'en profiter. Ce n'est point que ce soit chose bien luxueuse qu'une salah ; mais le toit de paillotte garantit de la rosée si abondante du matin ; le plancher surélevé, fait de bambons fendus, rend moins fréquentes les invasions des fourmis ; enfin si misérable que soit une de ces cases, on y peut dormir tranquille, sans qu'il soit besoin d'entretenir des feux pour écarter les bêtes sauvages, toutes considérations auxquelles le voyageur ne laisse pas que d'être sensible quand il vient de faire une journée d'éléphant par la grande chaleur. Dès ce moment nous eûmes à souffrir du manque d'eau ; la chaleur rendait aussi pénible la seconde partie de l'étape.

Depuis Prakim, le pays ne fait qu'une immense plaine; le sol est une argile plus ou moins ferrugineuse mêlée de gravier et recouverte d'une couche de limon qui s'épaissit chaque année. Aucune ondulation : à Sisophon seulement, trois mamelons rocailleux s'élèvent brusquement, comme des îles dans l'océan. Aussi les quelques ruisseaux que l'on rencontre ne coulent-ils pas dans de véritables vallées, dans des dépressions de terrain, mais dans des sortes de ravines profondes, à berges abruptes, creusées par érosion dans une terre sans consistance et facile à détremper. L'humidité ne se fait sentir que tout près des rives ; et ces mêmes terrains qui sont noyés à l'époque des crues, se dessèchent au point de se crevasser profondément pendant la période des chaleurs. La végétation ressent les fâcheux effets d'une aussi inégale répartition des eaux : à part quelques endroits couverts de forêts assez belles, auprès de Pathrong et de Sakao par exemple, la plaine ne présente que deux aspects : Ou bien ce sont des arbres aux larges feuilles

déjà jaunies et cassantes, trop espacés pour donner de l'ombrage; à leur pied une herbe rare, toute souillée de poussière, enfonce péniblement ses racines entre les monticules de terre durcie que construisent les fourmis blanches. Ou bien, à perte de vue s'étendent les petits panaches d'une sorte de roseau, le treng, à travers lequel pointent de temps en temps des touffes sèches de bambou épineux. Souvent aussi, suivant l'usage du pays on avait mis le feu aux herbes et nous marchions sur un sol tout noir et tout couvert de cendres : dans ces espaces dénudés, une heure à peine après le lever du soleil, la température de l'air (*) montait au delà de 33°.

A partir de Pathrong, le terrain s'abaisse de plus en plus; à l'époque des grandes guerres entre Siam et l'Annam, un général siamois, le Tcho-Kum Bodinh fit construire une chaussée pour assurer ses communications avec Battambang, même à l'époque des pluies. Cette digue, haute d'un mètre environ, est, quoique mal entretenue et défoncée sur plusieurs points, la seule route praticable. C'est là qu'auprès d'un arbre isolé au milieu d'une plaine de treng large d'environ trente kilomètres, nous vîmes défiler la pompeuse caravane du prince Deng et de M. Loftus, revenant de Battambang; nous ne soupçonnions guère ce que ce passage nous vaudrait d'ennuis et de difficultés!

Le village de Sisophon, où nous arrivâmes le lendemain de cette rencontre était un point important dans notre itinéraire; nous y devions échanger nos éléphants fatigués contre d'autres qui nous méneraient au Grand-Lac. C'était chose convenue avec le gouverneur, à notre départ de Prakim; mais tout avait dis-

(*) Mesurée au thermomètre-fronde.

paru : éléphants et charrettes avaient été requis pour le service du prince, et, faute de mieux, nous dûmes nous contenter d'un mauvais bateau de charge qui nous conduirait à Bac-Préang, au confluent de la rivière d'Angkol-Bouri et de l'arroyo de Battambang. Encore pour obtenir les trois rameurs sans lesquels notre bateau ne nous servait pas de grand'chose, fut-il nécessaire de se fâcher bien haut et de recourir aux grands moyens. Le chef avait uniquement voulu se débarrasser de nous, et, pour nous expédier, nous avait donné le premier bateau venu, bien trop lourd en l'état actuel des eaux; nous ne tardâmes pas à éprouver les effets de ce bon procédé. Un peu avant minuit, l'embarcation qui plus d'une fois déjà avait touché le fond, s'échoua en plein sur un banc de vase; tout le monde fut obligé de se mettre à l'eau, et après une demi-heure d'efforts, on put repartir. Moins de cinq cents mètres plus loin, second échouage où tous nos efforts furent inutiles : un village était non loin de là, on courut réveiller le chef et ses gens; dix-huit hommes et deux buffles vinrent s'atteler au bateau avec le personnel entier de l'expédition, et à quatre heures du matin, on réussit à se remettre à flot. A huit heures, nouvel accident plus grave que les précédents; cette fois c'était un passage d'une centaine de mètres en eau peu profonde qu'il fallait franchir pour atteindre le confluent de la rivière de Swai, où nous aurions été hors d'affaire, et nous étions réduits à nos propres ressources. Il fallut décharger le bateau et construire avec des planches et des nattes une sorte de barrage : quatre hommes qui descendaient la rivière de Swai, vinrent nous prêter main-forte; et à force de tirer et de balancer le bateau, de draguer le fond avec les mains, de pousser et de peiner, on parvint en eau profonde. Alors il s'agit de

venir, en marchant dans le courant, apporter tout le bagage depuis le lieu du débarquement, et de le remettre à bord. Ce pénible travail survenant après la nuit que l'on vient de voir, ne dura pas moins de cinq heures, sous le grand soleil, sans prendre un aliment, et les jambes ensanglantées par les épines et les piqûres des sangsues. Nos bateliers étaient épuisés; et nous mêmes, guère plus vaillants, nous n'osions pas les presser, de sorte que nous avancions à peine au fil d'un faible courant, et nous arrêtant la nuit. On avait alors la plaie des moustiques.

Ainsi retardés par ces difficultés et par bien d'autres de moindre importance, nous mîmes cinq jours pour atteindre Peam-Sema, auprès du Grand-Lac. Là, me trouvant à proximité des célèbres ruines d'Angkor, désireux en même temps de connaître la nature du sol et l'aspect des forêts sur la rive septentrionale du Tonlé-Sap, où ne s'étend point l'inondation, je laissai ma lourde jonque, et, prenant une barque longue à huit rameurs, je gagnai l'embouchure de la rivière de Siam-Reap; puis je partis en charrette à bœufs pour le village, où j'arrivai vers cinq heures du soir. La même nuit, à deux heures, je repartais en charrette pour les ruines, je faisais une course dans la forêt d'Angkor-Thom, puis je revenais d'une traite au lac, où je me rembarquais aussitôt; le lendemain matin, j'étais de retour à Peam-Séma, n'ayant pris que trois jours pour cette excursion. On s'occupa immédiatement du départ pour Battambang; les eaux étaient tellement basses qu'il fallut transborder encore une fois notre bagage et prendre deux canots légers. Malgré cette précaution, il y eut plusieurs échouages en route, et à Battambang même, les barques ne purent parvenir jusque devant la salah où nous devions nous

arrêter. Dans la journée (13 mars), je présentai au vice-roi les lettres qui m'avaient été remises pour lui à Bankok, et lui demandai pour le lendemain matin les éléphants et les charrettes qui devaient nous mener à Pursat, sur le territoire cambodgien. Je ne m'arrêterai pas à cette partie du voyage non plus qu'au trajet de Pursat à Oudong; ce ne serait guère que la répétition de la route de Prakim à Sisophon. La saison s'avançant, l'eau devenait de jour en jour plus rare et plus mauvaise; bien souvent après une longue étape, on ne trouvait qu'une sorte de boue fluide et jaune conservant encore l'odeur repoussante des buffles qui s'y étaient baignés quelques heures auparavant. La chaleur augmentait et devenait excessive, tandis que la nuit une rosée abondante rafraîchissait l'air; à travers les couvertures, nous souffrions du froid. Enfin le 23 mars, dans la matinée, nous arrivions au village de Compong-Luong, qui sert d'embarcadère à Oudong; nous en partions presque aussitôt sur deux barques cambodgiennes, et, rattrapés en route par la canonnière *la Javeline*, qui nous prenait à bord, nous rentrions le soir même à Phnom-Penh, notre point de départ et le terme de notre voyage, ayant parcouru dans l'espace de 67 jours, un circuit total de plus de 900 milles.

Pour compléter ce récit, il me reste à décrire les terrains depuis Sisophon jusqu'à Oudong. Aucun accident, aucune chaîne de hauteurs n'indiquent que l'on passe du bassin du Bang-Pa-Kong à celui de l'Angkol-Bouri; le pays conserve le même aspect, sec et dénudé à l'intérieur, couvert le long des rivières d'une épaisse végétation de *rangs* et de *phtrols* au feuillage vert foncé. A mesure que l'on s'avance vers le lac, le lit de la rivière se creuse, les berges deviennent plus hautes et plus

abruptes et font saillie au-dessus des plaines avoisinantes. Bientôt on entre dans la région, qui, chaque année, est couverte par les inondations, et ces caracté res s'accentuent de plus en plus. A Peam-Séma, la rive est à 7^{m}.50 au-dessus des basses eaux; et au moment de la crue, les flots viennent battre le seuil des maisons exhaussées sur des pilots de 3^{m}.50; à ce moment, un vapeur peut faire en ligne directe à travers la campagne couverte d'eau, le chemin que nous allions suivre à éléphants, de Battambang à Pursat. Aux environs de Battambang, à une journée *de marche* environ, s'aperçoivent quelques collines *isolées*, sur l'une desquelles se trouvent les ruines de Banon; de même qu'à Sisophon, ces collines s'élèvent brusquement du milieu d'un terrain plat, et semblent n'être que les sommets les plus élevés d'un sous-sol, dont les accidents moindres auraient disparu sous les alluvions accumulées. Une de ces collines au pied de laquelle nous passions, m'a parue formée d'une roche granitique (Arkose?); on n'y trouve aucune source; un lac que les indigènes m'ont dit exister au sommet de l'une d'elles, n'a point d'écoulement apparent; au pied sont des marécages. De Battambang à Pursat, le pays est assez boisé; tantôt ce sont des forêts continues, tantôt des plaines semées d'arbres; tantôt enfin de grands espaces couverts d'herbes, où, à de courts intervalles, des bouquets d'arbres couronnent de gigantesques fourmilières. Plus loin, le pays s'élève, et l'on rencontre les derniers contreforts des montagnes dites de Pursat, qui vont rejoindre les montagnes de Kamchay à travers la province peu connue de Compong-Som. On y rencontre, m'a-t-on dit, des parties arrosées par des sources nombreuses, où l'on exploite activement le bois de rose. Quant au Vorvong-Saurivong, la plus élevée des mon-

tagnes que j'ai rencontrées sur la route de Oudong, il présente un tout autre caractère; il est formé d'une pierre grossière et friable, et paraît absolument aride; les vallées qui l'entourent du côté de l'ouest sont assez fraîches et humides; au contraire, sur l'autre versant les ruisseaux étaient entièrement à sec; enfin, une fois passée la montagne de Oudong, on rentre dans les pays d'inondation; et c'est par une chaussée de pierres, construite par le roi Ang-Duong, que l'on atteint Compong-Luong et le fleuve.

A mon retour à Phnom-Penh, j'appris que M. le Gouverneur de la Cochinchine avait quitté Saïgon pour se rendre au Cambodge; désireux de le voir et de lui faire connaître les résultats de mon voyage avant de rentrer en France, j'attendis son arrivée, et lui ayant rendu compte de mes observations, je revins à Saïgon. Là, je reconnus l'impossibilié de faire aucun essai: des instruments qui m'avaient été envoyés, les uns étaient détériorés par la chaleur, les autres avaient reçu des avaries pendant le transport. D'ailleurs les moyens m'auraient absolument manqué pour faire subir aux échantillons un traitement ressemblant même de loin aux opérations industrielles. Je ne pouvais non plus entreprendre quelque nouveau voyage à cette saison avancée; les orages, plus précoces que d'habitude, avaient commencé d'éclater, et l'atmosphère lourde et accablante de Saïgon n'était pas faite pour me remettre des fatigues précédentes. Je songeai donc à partir par le premier bateau, et résolus d'employer le temps qui me restait disponible à recueillir des informations commerciales et des renseignements sur les pays que je n'avais point visités. C'est alors, Monsieur le Ministre, que je vous adressai un télégramme demandant des instructions; et, n'ayant

point reçu d'ordres contraires, je pris passage, le 12 avril, sur le paquebot *le Natal.*

Résultats du voyage au Cambodge et à Siam. — Pour conserver l'ordre suivi dans le récit du voyage à Sumatra, je devrais maintenant réunir et discuter les résultats obtenus dans cette seconde partie de ma mission ; et malheureusement, ils se réduisent à bien peu. Relativement aux espèces indigènes recueillies à Kampot, je n'ai rien à ajouter ; pour elles, comme pour les guttas de qualité secondaire, il devra être fait une étude approfondie ; et, si les conclusions en sont favorables, un essai industriel et une expérience prolongée achèveront de faire connaître la valeur de ces nouvelles matières. Quant aux substances connues et anciennement employées, ni Siam, ni le Cambodge ne peuvent actuellement en produire, ni ne paraissent susceptibles d'en donner plus tard, au moins dans la région que j'ai parcourue du Mékong au Ménam. Même au nord du Grand-Lac, dans les parties que l'inondation n'atteint plus de nos jours, vers Siam-Reap et Angkor, par exemple, le sol conserve tous les caractères des plaines basses qui sont chaque année couvertes par les eaux. Les roches primitives, granit et grès, sur lesquels croissent les mayangs, manquent dans ces terrains de transport, ou si elles y ont jamais existé, disparaissent sous les limons et les détritus, qui, à chaque hivernage, sont arrachés par les torrents de montagne aux pentes méridionales de l'Himalaya. Le même phénomène qui étend vers le nord-est les côtes basses de Sumatra, se produit avec une bien autre puissance dans le bassin de Mékong ; la vallée inférieure qui comprend les plaines du Cambodge s'exhausse ; et le delta, occupé par nos provinces de Cochinchine, gagne rapidement sur la mer. La composition des terres et le ré-

gime des eaux diffèrent profondément dans ce sol remanié et dans les pays qui en ont fourni la substance. Et, de même qu'à Sumatra, nous n'avons point rencontré les guttifères avant l'entrée des montagnes, de même nous ne saurions entretenir l'espoir qu'ils prospèreront dans les régions alluviales. La partie de la chaîne de Pursat que l'on rencontre près de Oudong, n'offre pas de meilleures chances; les matériaux dont elle est formée, argiles, conglomérats, pierre de Bien-Hoa, ne se distinguent guère que par la consistance des dépôts de la plaine; l'eau s'en écoule aussitôt, et, tandis que les sommets sont secs et arides, les fonds sont remplis par des étangs et des marécages. Il ne reste donc, en fait de terrain où l'on puisse raisonnablement entreprendre des cultures, que les montagnes de Kamchay aux environs de Kampot, et leur prolongement dans la province de Compong-Som, à supposer du moins que des influences climatériques ne rendent pas les essais infructueux.

Difficultés de l'acclimatation. — De ces influences, les unes sont locales, comme les tourmentes de vent, dans les montagnes de Kamchay; les autres s'exercent sur tout notre territoire, et ce sont elles surtout que je voudrais signaler, parce qu'elles sont peut-être l'obstacle le plus sérieux que rencontreraient les tentatives de culture. On a vu que la zone d'habitat naturelle des guttifères est limitée au 5e degré de latitude nord environ : nos possessions de Cochinchine, si l'on excepte la région basse et marécageuse qui forme l'inspection du Rach-gia, sont situées par delà la 10e parallèle. Sans doute cet écart de 6 à 8 degrés n'a pas, sous les tropiques, la même importance que dans nos pays, où il nous ferait passer des plaines humides de la Flandre aux col-

lines brûlées de la Provence. Il y a cependant des différences marquées entre le climat des îles de la Sonde et celui de nos établissements. La température moyenne de l'année est à peu près la même; mais, tandis qu'à Java et à Sumatra, près des côtes, la température moyenne de l'hiver ne descend pas au-dessous de 25°, à Saïgon elle est comprise entre 20 et 25; c'est-à-dire que l'été est plus chaud et l'hiver plus froid. Cette différence apparaît bien davantage, si l'on tient compte de cet élément si important, le régime des pluies. Bien plus abondantes dans l'archipel malais, où l'épaisseur d'eau tombée annuellement dépasse deux mètres, tandis qu'elle varie entre un et deux pour les côtes de Cochinchine, les pluies sont en outre réparties d'une autre manière; il n'y a point, à proprement parler, de saison sèche, et, après l'hivernage pendant lequel règnent les pluies périodiques amenées par la mousson du sud-ouest, de fréquentes averses viennent constamment rafraîchir le sol. Au contraire, en Cochinchine et au Cambodge, après une saison d'orages journaliers, on en traverse une autre pendant laquelle il ne tombe pas une goutte d'eau. Et si, pour trouver une répartition des pluies plus semblable à celle Java ou de Malacca, on sort des plaines, et on va chercher des pays où les accidents du sol retiennent les nuages, on se heurte à la question des températures. Dans leur voyage aux sources du Donnaï, M. le Dr Néis et M. le lieutenant Septans ont traversé une région de montagnes granitiques, où ils ont essuyé de violentes averses dès le mois de décembre et surtout en avril, alors qu'à Saïgon les pluies ne commencent guère qu'en juin : de plus des brouillards humides rafraîchissaient le sol, et ce que disent ces explorateurs de l'aspect du terrain, paraîtrait assez favorable. Mais sur ces plateaux

déjà élevés, la température à six heures du matin pendant les mois de février, mars et avril (et ce n'est pas la température minimum) est bien inférieure à 25° et s'est abaissée plusieurs fois à 12° et une fois à 7°. En l'absence de documents, il est bien difficile d'émettre une opinion : il semble pourtant que, pour ces causes ou pour d'autres qui m'échappent, on puisse craindre l'insuccès sous deux formes : *Les arbres transplantés sur un sol, sous un climat qui n'est pas celui qui leur convient, périront : ou bien, maladifs et dégénérés, ils végéteront, ne donnant qu'un produit d'une qualité inférieure*. Mais, hâtons-nous de le dire, ce sont là seulement des possibilités; chaque fois que l'on a voulu acclimater une plante étrangère, on a dû compter avec des difficultés de même ordre; et c'est précisément la part de l'homme que de suppléer par les soins et le travail à l'insuffisance de la nature. Au demeurant, si l'on peut, si l'on doit considérer d'avance quels obstacles rendent douteuse l'issue de l'entreprise, on n'en saurait prédire le résultat final, et c'est à l'expérience qu'il appartient de prononcer : elle seule peut décider si ces arbres, nés spontanément dans les îles malaises, trouvent en Cochinchine les conditions de leur vie, ou si le sol et le climat ne leur permettent point d'y subsister. Pour moi, chargé d'étudier la question et de la soumettre à votre examen, je ne pouvais pas en taire les chances ou bonnes ou mauvaises : mais quelque graves, quelque redoutables que soient ces dernières, je crois qu'il ne faut point s'y arrêter. Pour cette expérience si désirable, il suffira d'une somme relativement faible; et il ne faut qu'un coup d'œil pour juger si les intérêts en jeu méritent qu'on fasse pour eux ce léger sacrifice.

Examen de la question commerciale. — Deux mar-

chés alimentent toute l'industrie européenne : Macassar et Singapore. Quoique l'on rencontre dans le commerce des quantités considérables de guttas vendues sous le nom de Macassar, cette place est peu importante. On y trouve trois sortes de produits : un caoutchouc dit *gutta-souso* ou *bornéo-rubber ;* une gutta de qualité moyenne que les commerçants de l'endroit appellent *gutta-percha ;* une gutta friable et pulvérulente, dite *gutta-moukas*, qui est de beaucoup la plus abondante. Voici d'ailleurs le tableau des ventes effectuées depuis trois ans à Macassar :

1879.	moukas.	3.100 pikuls	percha.	35 pikuls	souso.	30 pikuls
1880.	id. . .	3.050	id. . .	30	id. .	40
1881.	id. . .	1.140	id. . .	44	id. .	60
1882 (jusqu'au 15 avril)	id. . .	1.490	id. . .	20	id. .	20

le pikul étant de 61k,76.

Une grande partie de ces matières ne sont achetées sur la place que pour être transportées et revendues de nouveau à Singapore.

Il s'est fait également par le port de Pinang une exportation de produits analogues à ceux qui sont livrés par Singapore. Je donne plus loin (tableau n° 4) le relevé de ce mouvement qui n'est pas non plus bien considérable.

Le véritable marché est donc Singapore, et là nous voyons les exportations passer

de 14.500 pikuls en 1876,
à 62.000 en 1881,

c'est-à-dire quadruplées. Ce mouvement se fait presque uniquement sur Londres. Dans la même période, la demande sur les caoutchoucs se maintient vers

650 pikuls,

et passe pour le bornéo-rubber de

6.350 à 9.100 pikuls.

J'ai déjà signalé qu'antérieurement à 1877 on ne distinguait que deux sortes de guttas, et que maintenant on fait trois qualités.

1875		1881	
1re.......	40-45 $	1re.....	78-112-120 $
2e.......	10-40	2e.....	35-80
		3e.....	18-35

Les prix ont donc augmenté dans le rapport de 1 à 2,5 et 3. Et à ces cours élevés, la marchandise est rare, surtout les belles qualités qui sont enlevées aussitôt. Tous les bulletins de la chambre de commerce portent des mentions de ce genre : *pas d'arrivages*, *demandes suivies; pas d'offres*, *demandes sur toutes les qualités*, etc. C'est-à-dire que les ventes ne suffisent pas aux besoins, alors que le chiffre des transactions sur les guttas a passé dans l'espace de six ans de :

435.000 à 4.340.000 $

soit

2.175.000 à 21.700.000 francs environ.

Et si l'on songe combien peu répandues sont encore les applications de l'électricité, et quels progrès rapides se font dans cette nouvelle branche de l'industrie, on arrive à la conviction que, sous peu d'années, cet accroissement qui nous paraît énorme, sera bien dépassé. Alors le pays qui, par ses ressources naturelles, ou mieux encore par des cultures entreprises à temps dans une pensée de sage prévoyance, se sera mis en mesure de présenter sur le marché de fortes quantités de gutta, ne pourra manquer d'en trouver l'écoulement avantageux.

On peut aller plus loin, et si on compare comme je viens de le faire pour la gutta, le cours des divers pro-

tous marchés de l'Extrême-Orient (voir tableau n° 7), on en jugera par les faits suivants. Quelles sources de richesses les cultures de la canne et du café ont été pour Java, Ceylan, les Antilles, ce n'est pas la peine de le dire. Or, au cours actuel, le pikul de café Java se vend à Singapore.

$ 15.5

et le pikul de sucre demi-brut :

$ [illegible]

c'est-à-dire que les guttas de qualité moyenne, brutes, et chargées d'impuretés au point que le déchet de manipulation jusqu'à la mise en œuvre définitive se monte à 15, 20 et 25 p. 100, *valent, à poids égal, six fois le café et vingt fois le sucre.* Et cette différence énorme est d'autant plus frappante que dans la même période où nous avons vu les guttas hausser si rapidement, le sucre est resté stationnaire et le café a baissé de 7 $ par pikul. Les mouvements de ces deux denrées ne sont d'ailleurs que des cas particuliers d'un mouvement plus général ; on peut dire, à de rares exceptions près, qu'il y a baisse ou tendance à la baisse, sur les produits de culture destinés à la consommation, hausse ou tendance à la hausse sur les produits naturels employés par l'industrie. (Voir tableau n° 7.)

Il n'est pas besoin d'insister davantage pour montrer dans toute son importance l'intérêt commercial qui s'attache à la question ; je vais me placer maintenant au point de vue spécial de notre colonie de Cochinchine. Pendant longtemps le riz a été le seul article d'exportation, et, par suite, la principale richesse du pays ; le gouvernement colonial s'est ému avec raison de cet état de choses qui met la fortune des habitants à la merci d'une

mauvaise récolte, sans qu'aucun autre commerce leur permette, sinon de réparer leurs pertes, au moins de se soutenir jusqu'à ce qu'un retour de fortune inverse rétablisse leurs affaires; et il s'est efforcé d'introduire et d'encourager de nouvelles cultures. Des subventions importantes, soit en argent, soit en terrains concédés gratuitement, ont été accordées pour la création de plantation de cannes et de sucreries, pour des plantations de café ; on a essayé l'indigo au Cambodge, la noix de Bencoulen à Saïgon, etc. Aucune de ces cultures n'est d'autant de rapport que la gutta; et cependant la colonie croit de son intérêt de les soutenir, et s'estimerait heureuse de parvenir à quelques résultats dans cette voie. A bien plus forte raison ne doit-on pas reculer devant une légère dépense pour introduire la gutta-percha ; car il ne s'agit plus d'une subvention annuelle, mais d'une dépense une fois faite, et de frais de surveillance et d'entretien peu importants.

Une autre considération doit engager l'État à prendre l'entreprise à sa charge et à ne pas s'en remettre aux soins des particuliers. Ce dont souffre notre colonie, ce qui a empêché le succès de plusieurs exploitations fondées d'après des idées justes, c'est le manque d'argent. L'argent est rare, et, par suite cher ; le taux de l'intérêt en banque est de 12 p. 100 et fréquemment davantage. A ces conditions, il est difficile d'emprunter ; et c'est pour épargner le capital engagé que, dans bien des cas, on n'a pas mis les choses sur le pied d'étendue qui peut seul couvrir les frais d'une exploitation européenne. La ruine s'en est suivie, car on a eu les gros frais, non les gros bénéfices. Dans le cas actuel, où, la première dépense faite, on aura encore pendant de longues années des débours sans revenu ; où il faudra attendre quinze

ou vingt ans la première récolte, le particulier courrait à un désastre certain. C'est donc à l'État qu'il appartient de prendre en mains l'entreprise; et, c'est en ce sens que j'ai l'honneur de vous soumettre les propositions qui suivent, comme conclusions de ce rapport.

PROPOSITIONS

1° *Cochinchine.*

a. Terrains. — J'ai déjà indiqué *les montagnes du Kamchay et leur prolongement vers les montagnes de Cardamome*, comme pouvant offrir quelques chances de réussite. Un deuxième emplacement, qu'à la vérité, je n'ai point visité, et dont je ne parle que par ouï-dire, est *le pays qui s'étend depuis Baria et Bien-hoa*, *vers les sources du Donnaï au nord*, *et à l'est vers les montagnes du Binh-Thuan et du Tsiampa.* D'après la relation que MM. Néis et Septans ont publié de leur voyage dans ce pays (*), le sol est généralement granitique ; on rencontre aussi des amas considérables de grès et de basalte. La température, et c'est peut-être là le danger, ainsi que je l'ai remarqué plus haut, est assez fraîche la nuit et le matin; mais si l'on excepte les cas extrêmes qui ont été cités, elle se tient vers 15° à six heures du matin, s'élève beaucoup plus dans le courant de la journée et atteint 30° à midi et 23° à sept heures du soir. Si l'on se reporte au tableau n° 9, pour la station de Lahat (île de Sumatra), située sur la côte orientale par 3° de latitude sud environ, à l'entrée des montagnes, c'est-à-dire dans les conditions des terrains à gutta, on voit que la température moyenne est de 26°.

(*) *Excursions et reconnaissances*, n° 10.

La saison sèche serait moins marquée qu'à Saïgon. « Les montagnes en arrêtant les nuages, causent la for- « mation d'orages fréquents toute l'année (*) ». Le tableau n° 11 montre que dans les îles de la Sonde les pluies se répartissent sur toute la durée de l'année. Le sol se trouve ainsi constamment humecté, et les eaux subissent une sorte de drainage naturel. « Les rivières « ne proviennent pas de sources proprement dites; l'eau « suinte goutte à goutte dans les excavations, se rassem- « ble en un mince filet d'eau qui grossit peu à peu en « route pour devenir un fort ruisseau au pied de la « montagne. » La végétation signalée se rapproche aussi de celle de Sumatra. Les populations qui habitent ces montagnes (Traos ou Moïs des Annamites) sont douces et craintives; à la suite du premier voyage de M. le Dr Néis, quelques chefs sont venus à Saïgon, et depuis lors des rapports ont été établis entre eux et le gouvernement de la colonie. Il semble donc que l'on ne doive pas rencontrer de difficultés de la part des hommes; le principal obstacle sera le défaut de voies de communication et de moyens de transport.

Toutes ces indications se rapportent uniquement au versant occidental des premiers massifs montagneux, le seul exploré. J'ai signalé plus haut que les guttifères paraissent peu abondants sur les côtes ouest de Malacca et de Sumatra; peut-être y a-t-il une relation entre ce fait et l'abri que ces côtes reçoivent des montagnes contre la mousson de nord-est. S'il en est ainsi, il ne faudrait pas se placer dans une situation désavantageuse; et pour cette raison d'une part, pour étendre l'aire des cultures d'autre part, il serait désirable que l'on pût pousser plus

(*) Voir le tableau d'observations recueillies par M. le docteur Néis, pour les mois de février, mars et avril, tableau n° VIII.

loin vers l'est, et s'établir sur le revers oriental des montagnes qui dominent le Binh-Thuan et le Tsiampa. Il est superflu d'ajouter que, si favorables que soient les renseignements cités plus haut, on ne devra rien entreprendre sans qu'une exploration minutieuse ait donné une connaissance plus complète du pays.

b. Plants. — Les espèces à introduire, sont en premier lieu, le *Mayang-Derrian* ; ensuite le *Batou* et la *Sundek.* Les plans nécessaires aux essais de culture seront recueillis de préférence à Sumatra, le voyage que j'ai fait dans cette île permettant d'assigner exactement l'endroit où on devra se rendre.

J'ai indiqué amplement les difficultés que présentent la recherche, la conservation et le transport des plantes. Il sera donc indispensable que l'expédition envoyée à Sumatra comprenne un *jardinier habile*, sachant emballer les fleurs, les marcotter et les bouturer. Ce jardinier pourrait utilement avoir avec lui quelques aides, chinois ou javanais, que l'on se procurerait sans peine à Singapore. L'expédition devra être pourvue *de vivres* pour toute la durée de son séjour, soit au moins trois mois ; elle devra être munie d'un nombre de *serres portatives* suffisant pour recevoir la totalité des plants qu'il aura été jugé nécessaire de recueillir ; car il ne faut pas espérer que l'on trouvera sur place aucune ressource, de quelque nature que ce soit.

Elle devra emporter une quantité assez considérable de *menus objets* qui sont bien plus commodes que l'argent pour entrer en relations avec les Battaks et payer leurs services.

Elle ne devra pas partir avant que les terrains de culture n'aient été choisis et mis en état, s'il y a lieu : elle attendra aussi *la fin de la saison des pluies* à Sumatra,

sans quoi elle perdrait son temps, dissiperait ses ressources, ferait des frais inutiles et s'exposerait aux maladies ; elle aura ainsi pour ses recherches la fin de janvier, février et mars, et pourra être de retour et apporter les plants sur place avant le commencement des pluies en Cochinchine.

2° *Etat de Pahang.*

Quels que soient les soins apportés à la recherche des meilleurs terrains de culture, toute entreprise d'acclimatations en Cochinchine, renferme en elle-même un élément aléatoire, et l'on ne saurait répondre de la réussite. Au contraire le hasard serait supprimé, le succès deviendrait certain, si on pouvait créer un établissement dans un pays de production actuelle, où la présence spontanée des arbres à gutta est la plus sûre preuve qu'ils y peuvent prospérer. Si l'on entre dans cet ordre d'idées, le choix ne reste pas longtemps douteux. A Sumatra, il ne serait guère possible de rien essayer, non pas tant à cause des difficultés matérielles, que l'on rencontrera partout ailleurs, mais parce que l'on n'aurait sans doute pas l'assentiment du gouvernement hollandais. A peine établies sur la côte, les autorités locales n'aimeraient pas voir des Européens s'enfoncer dans l'intérieur, à une distance où leur sécurité pourrait être menacée sans que l'on pût leur venir en aide. Tant que l'on reste en plaine, tout est relativement aisé, mais il faudrait précisément pénétrer dans la montagne. A Delli, plus d'une fois des voyageurs et des planteurs ont été surpris et massacrés par les Battaks (*) ; on a vu que

(*) La dernière affaire a eu lieu vers 1878.

l'influence du contrôleur d'Assahan s'arrête à Pasir-Manogeh; pendant que je me trouvais dans la rivière de Siak, des colons qui avaient voulu exploiter des mines d'étain au lieu dit Batou-Gadja, se trouvaient isolés et perdus au milieu d'un pays mis en feu par les guerres de deux chefs. Plus bas, dans le Djambi, une mission hollandaise envoyée par la Société de géographie d'Amsterdam avec l'appui du gouvernement, pour explorer l'Indragiri, n'a pu accomplir son voyage, et n'a pas pénétré dans les montagnes, dont les sultans indigènes lui interdisaient l'accès. Dans la province de Palembang et les districts Lampongs, nous sortons de la zone naturelle.

Ce que je viens de dire de Sumatra, s'applique à plus forte raison aux possessions hollandaises de Bornéo ; et quant aux états indigènes indépendants, Sarawak, où règne le rajah Brookes ; Bruni, Sulu, Sabah, dont l'occupation déguisée par l'Angleterre a causé tant d'émotion en Orient, ces pays sont depuis des années de véritables fermes entre les mains de maisons de Singapore, qui, pour se réserver les avantages d'un pareil monopole, ne manqueront pas de contrarier de tout leur pouvoir tout établissement européen. D'ailleurs les guttas de Bornéo sont de qualité inférieure.

Reste alors la presqu'île de Malacca, et de préférence, sa côte orientale, sur laquelle on rencontre, à partir du cap Romania, les états du Maharadjah de Johore, ceux du Bandahara de Pahang, et enfin les possessions siamoises de Tringanou. Johore ne fournit presque rien ; Tringanou, des produits de seconde qualité ; Pahang, ce qu'il y a de meilleur et de plus recherché dans le commerce. Cette seule considération suffirait à fixer notre choix ; d'autres raisons viennent encore le confirmer. Le radjah

de Selanggore a des relations lucratives avec les établissements de Penang, de la province Wellesley, de Larrout, de Perak et de Malacca; grâce au voisinage de Singapore, des Européens sont venus à Johore et y ont créé des plantations, des scieries, diverses exploitations pour le compte du Maharadjah, dont les revenus ont ainsi augmenté dans une forte proportion. En raison de l'éloignement de ses états, le Bandahara a été jusqu'à présent privé de ces avantages, ce qui ne laisse pas que de lui causer de vifs regrets. Depuis deux ans, il vient passer plusieurs mois à Singapore, où il se montre très gracieux et accueillant, et s'efforce par ses avances d'attirer les colons. On peut donc présumer, que si l'on tentait de créer quelques cultures de ce côté, on serait activement secondé par lui, et qu'en particulier, il ne négligerait rien pour assurer la sécurité des planteurs. Toutefois il ne faudrait point s'occuper uniquement de la gutta, car le prince n'y trouverait pas son compte; mais on devrait en même temps examiner le parti que l'on pourrait tirer du pays en général qui, d'ailleurs, ne paraît pas dénué de richesses naturelles. Les bois de construction doivent y être abondants comme à Johore. C'est une opinion accréditée que le sud de la presqu'île de Malacca renferme des terrains aurifères d'où provient la plus grande partie de l'or répandu dans l'Inde et la Malaisie (*) ; et le Bandahara avait l'habitude d'offrir aux Européens qui lui rendaient visite à Singapore, de petites pépites encore engagées dans leur gangue de quartz qui, disait-il, provenaient de ses états. Peut-être aussi rencontrerait-on à Pahang les minerais d'étain si répandus sur la côte ouest de Malacca, à Sumatra, Banca, etc. La soie, dont les in-

(*) Les anciens donnaient à la presqu'île le nom de Chersonnèse-d'Or.

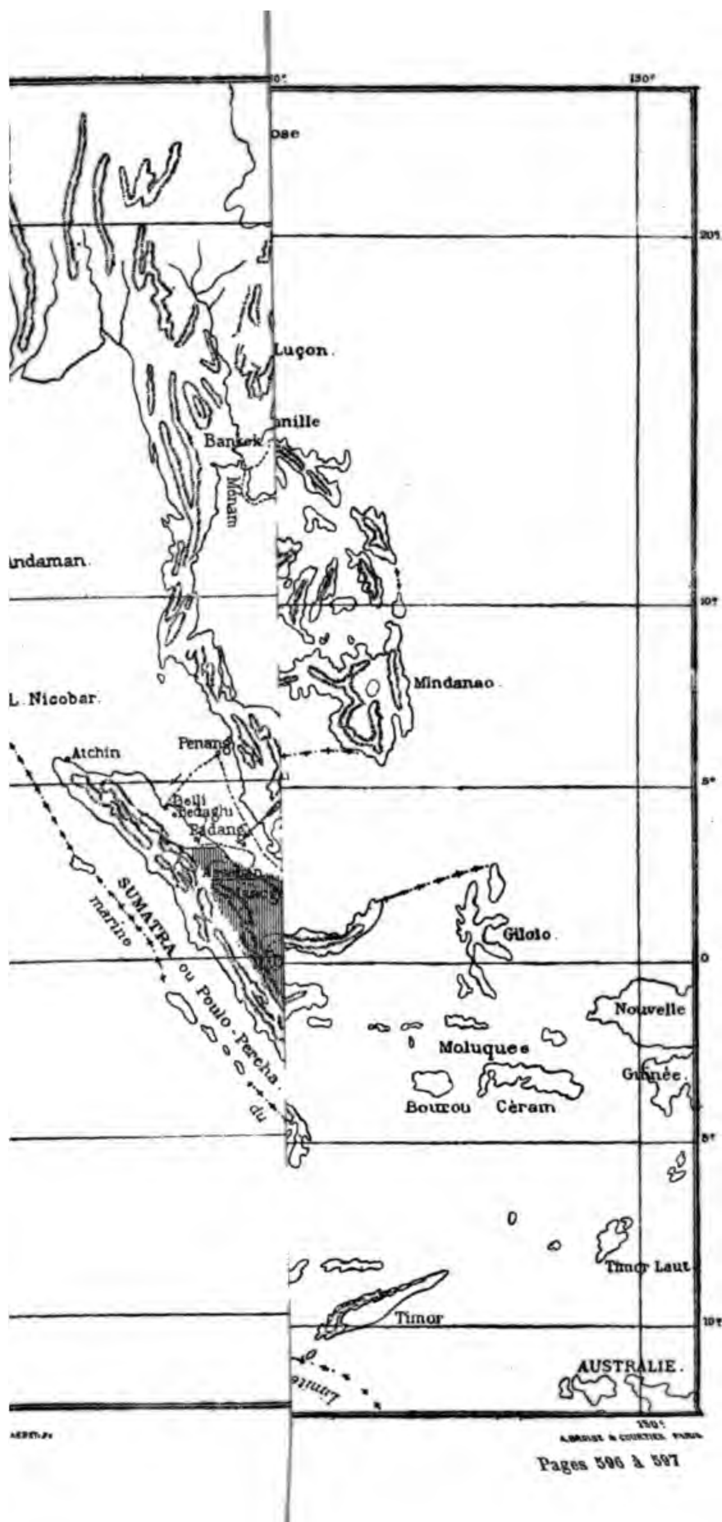
digènes de l'intérieur font des étoffes renommées dans l'archipel malais, pourrait aussi devenir un article important d'exportation. Il ne manquerait donc pas d'objets sur lesquels pût s'exercer l'activité de nos commerçants.

Telles sont, Monsieur le Ministre, les conclusions de l'étude entreprise par vos ordres. Justement inquiet de la situation faite à l'industrie électrique, vous aviez espéré que la Cochinchine pourrait offrir de nouvelles ressources; malheureusement, il n'en est rien. Et puisque la certitude est acquise que tous les pays où croissent les guttifères, nous livrent dès maintenant leurs produits; puisqu'une exploitation sans mesure a détruit en quelques années les réserves accumulées par les siècles dans les forêts de la Malaisie; puisque le présent est sans remède et que l'avenir même est compromis, il est urgent d'aviser: si l'on ne se hâte de prendre des mesures, bientôt l'industrie va manquer d'une matière que, jusqu'à ce jour, on n'a point su remplacer.

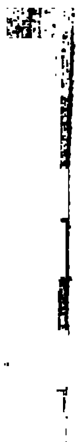
La carte ci-jointe de l'Archipel malais est destinée à compléter le précédent rapport. Les régions couvertes de hachures verticales sont celles où a été constatée l'existence actuelle des arbres à gutta-percha; les régions couvertes de hachures horizontales sont celles où la culture de ces arbres paraîtrait praticable. Les localités dont le nom est souligné sont des points d'embarquement des guttas. La ligne en trait pointillé (-----) représente l'itinéraire suivi par M. Séligmann-Lui. Les lignes en trait mixte (+--+-+) figurent la limite sous-marine des continents.

Les flèches indiquent les tangentes aux côtes d'Annam et de Bornéo parallèlement à la direction de la mousson de nord-est

---



Pages 596 à 597




THE ASTOR LIBRARY
NY

ANNEXES.

TABLEAU N° I.

Dénomination, provenance et classification des gommes vendues sous le nom de gutta-percha.

PROVENANCE.	NOM	LOCALITÉ où ce nom est usité.	QUALITÉ.	PRIX du picul.
Presqu'île de Malacca.	Souni-golaï.	Singapore.	»	$ 72,50
	Derrian.	Singapore.	1re	
	Pahang merah.. . . .	Singapore.	»	110-120
	Gutta taban merah . .	Larrout.	»	
	Pahang pouteh.. . . .	Singapore.	»	55,00
	Gutta taban pouteh. .	Larrout.	»	
	Tringanou.	Singapore.	2e	80-90
	Jelutong..	?	—	
	Singgarip.	?	Caoutchouc.	
	Ramboun.	?	»	
Sumatra.	Souni pouteh..	Singaporo.	2e	
	Siak souni..	»	»	75-100
	Sundek.	Siak, Pakan Barou.	»	
	Sountei, souni. . . .	Riow.	»	
	Derrian, diacas.. . . .	Assahan.	1re	
	Tabau..	Siak.	»	109-110
	Potho Protjo.	Padang.	»	
	Percha.	Siak.	»	
	Lapou.	Padang.	—	
	Gapouk.	Pasir Manogeh. . . .	—	
	Belouk.	Pasir Manogeh., . .	3e	
	Balao.	Parret.	»	
	Korsik.	Pasir Manogeh.. . .	—	
	Djerindjing.	»	—	
	Kalibara, Kartas. . .	»	—	
	Cajou-Arou.	Padang	—	
	Tsikkum.	Pasir Manogeh. . . .	—	
	Bouha Balam.	Benkalis, Assahan.	3e	
	Bouha.	Padang.		
	Pouteh	Assahan.	Caoutchouc.	
	Gerek.	Padang, Assahan. .	»	
	Ramboun..	Parret, Assahan. . . Padang, Siak. . . .	» »	
	Souso.	Siak, Singapore. . .	»	
	Akar.	Padang, Assahan. .	»	
	Poulont meramboun.	Assahan.	»	
Bornéo.	Derrian.	Soukadana.		
	Khimaniss.	Singapore.	1re	105-115
	Labuan merah.. . . .	»	2e	90
	Sundakan.	»	1re	110-120
	Benjer Massim.. . . .	»	2e	70
	Koti.	»		
	Boulongan.			
	Moukas.	Macassar.	2e	40-45
	Percha.	»	1re	110-120
	Sarawak.	Singapore.		
	Kottaringgin.			

PROVENANCE	NOM	LOCALITÉ où ce nom est usité.	QUALITÉ.	PRIX du picul.
Bornéo (*suite*).	Pontianak.	Singapore.		
	Labuan souso.	»	Caoutchouc.	
	Souso.	Macassar.	Caoutchouc.	$ 60-95
	Bornéo-Rubber.	Singapore.		
?	Lim-adjah.	Singapore.	2e	80

Noms cités par divers auteurs.

PROVENANCE.	NOM.	PROVENANCE.	NOM.
Sumatra.	Getah balam.	**Bantam.**	Balam timah.
	timah.		Karet pantjal.
	tjobé.		Karet andjing.
	troung	?	Tandjong.
	sounti.	**Bornéo.**	Ngiatou merah.
	tandoek.		» tooun.
Banka.	Dadouw.		» Bintang.
	Taban.		Kotian.
	Koulan.		Ngiatou pouteh.
Riow.	Getah taban.		Wangie.
	Bengkou.		Benkang.
	Sountei.		Tinang.
			Doukang.

TABLEAU N° II.

Mouvement du commerce des gommes sur la place de Singapore.

ANNÉES.	GUTTA-PERCHA.			CAOUTCHOUC.			BORNÉO-RUBBER.		
	SUR L'ANGLETERRE.	SUR L'EUROPE.	SUR LES ÉTATS-UNIS.	SUR L'ANGLETERRE.	SUR L'EUROPE.	SUR LES ÉTATS-UNIS.	SUR L'ANGLETERRE.	SUR L'EUROPE.	SUR LES ÉTATS-UNIS.
	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.	pikuls.
1870	30.905	603	205	3.483	214	1.628	»	»	»
1871	25.725		308	3.371	—	1 276	»	»	»
1872	33.931	420	42	1.501	55	140	9.211	»	3.674
1873	36.488	181	176	948	165	169	5.581	»	3.244
1874	21.178	259	230	814	89	233	5.429	»	1,231
1875	13.880	558	224	247	383	92	5.638	»	727
1876	16.028	852	199	301	229	13	5.400	»	1,487
1877	24.155	1.146	29	388	236	158	6.861	»	757
1878	26.514	844	209	279	123	—	3.823	»	216
1879	52.636	3 054	220	260	129	12	4.145	»	1,089
1880	46.515	4.018	196	53	311	101	6.029	»	1.470
1881	60.535	1.337	179	406	108	146	8.108	»	999
1882 au 1er mars	10.197	332	»	»	»	»	«	»	»

TABLEAU N° III.

Cours moyens des gutta-perchas sur la place de Singapore.

1876	1re qualité.	$ 40-45 — 50-55 — 55-60.
	2e —	10-40.
1877	1re —	55-72,50 — 55-71 — 55-70 — 55-67,50 — 60-74 — 60-73.
	2e —	20-40 — 20-40.
	3e —	19,75-20,50 — 19-20 — 19-19,50 — 19-20.
1878	1re —	60-73 — 60-75 — 60-76.
	2e —	20-40.
	3e —	21-22 — 21,5-22,5 — 22-26 — 23-24.
1879	1re —	60-76 — 60-78 — 60-84,50 — 60-86 — 60-88 — 50-95 — 90-1[illegible] — 90-95.
	2e —	20-40 — 20-42,50 — 30-58.
	3e —	28-24 — 28-26 — 24-33.
1880	1re —	80-98 — 80-100 — 80-102,50 — 80,104,50 — 80-103,50 — 80-[illegible] 80-90 — 70-85.
	2e —	40-70 — 40-80 — 30-60 — 30-75.
	3e —	25-40 18-30 — 18-35.
1882		70-83 — 70-84 — 72-90 — 78-93 — 78-97.

TABLEAU N° IV.

Mouvement du commerce des gommes sur la place de Poulo-Penang.

ANNÉES.	GUTTA.	CAOUTCHOUC.
	Pikuls.	Pikuls.
1870	1.706	960
1871	327	1.061
1872	175	350
1873	256	360
1874	53	289
1875	52	294
1876	28	302
1877	3	440
1878	6	298
1879	623	518
1880	1.412	972
1881	544	986

TABLEAU N° V.

Mouvement du commerce des gommes sur la place de Macassar.

	MOUKAS.	PERCHA.	SOUSO.
	Pikuls.	Pikuls.	Pikuls.
1879	3.100	35	30
1880	3.050	30	40
1881	1.140	44	60
1882 (15 avril)	1.490	20	20

TABLEAU N° VI.

Cours moyens des gommes sur la place de Macassar.

	MOUKAS.	PERCHA.	SOUSO.
	Florins.	Florins.	Florins.
1879	40-80	150-255	62,5-65
1880	60-75	175	120-125
1881	65-72 1/2	180-200	102,5-125
1882	73 1/2	»	»

TABLEAU N° VII.

Cours moyens des produits coloniaux sur la place de Singapore.

	1876	1881
EN HAUSSE.		
Camphre	$ 15	$ 22
Caoutchouc	50	60
Caoutchouc-Bornéo	81	45
Copal	4,25	8
Cubèbe	9	28
Damar	10,50	20
Gomme-gutte	51	76
Gutta-percha	42	110

	1876.	1881.
Poivre	$ 8,75	$ 11,50
Riz de Saïgon	59	70,50
Rotin	5,50	8
Sangdragon	30	42
Santal	3,60	5,25
Sapanwood	1,90	2,30
STATIONNAIRE.		
Benjoin	30	30
Sagou	3,50	3,60
EN BAISSE.		
Café Java	22,50	15,50
Cassia	11,50	9,00
Chanvre de Manille	13,50	12,00
Gambier	5,55	4,15
Huile de cacao	7,25	6,75
Muscade	82,50	79,50
Sucre de Java	7,55	7,00
Tapioca	1,30	4,00

TABLEAU N° VIII.

PAYS DES TRAOS.

Observations météorologiques.

DATES.	SIX HEURES du matin.	DEUX HEURES après midi.	SEPT HEURES du soir.	OBSERVATIONS.
1881.				
Février 20	23°	35°	27°	Tonnerre lointain dans le N.-E. à 4 h. du soir.
» 21	22	35	27	
» 22	23	34	26	
» 23	16	35	23	Tonnerre vers 4 heures du soir, sans pluie.
» 24	18	32	26	Tonnerre vers 4 heures du soir, sans pluie.
» 25	19	33	25	Tonnerre vers 4 heures du soir, sans pluie.
» 26	19	34	25	
» 27	18	35,5	27	
» 28	20	34	26	Orage avec pluie dans les montagnes situées à 10 ou 12 kilomètres.

DATES.		SIX HEURES du matin.	DEUX HEURES après midi.	SEPT HEURES du soir.	OBSERVATIONS.
1881.					
Mars	1	18°	30°	22°	
»	2	20	32	22	Fort brouillard de 6 h 1/2 du soir à 8 h. du matin.
»	3	15	29	24	
»	4	15	29	22	A 4 h. du matin le thermomètre marque 10°.
»	5	13	29	25	
»	6	18	31	24	Orage avec pluie abondante à 4 heures du soir.
»	7	21	30	24	Temps couvert, petite pluie dans la matinée.
»	8	22	30	25	
»	9	17	28	25	
»	10	18	29	25	Temps couvert sans pluie.
»	11	22	31	25	*Idem.*
»	12	21	28	20	Vent frais, beau temps.
»	13	»	»	»	*Idem.*
»	14	24	27	24	*Idem.*
»	15	20	29	21	
»	16	18	28	19	L'eau du Dong-Naï a 10° de température.
»	17	14	27	18	
»	18	12	24	18	
»	19	18	25	20	
»	20	13	28	20	
»	21	12	25	23	
»	22	12	24	20	
»	23	10	29	24	
»	24	14	30	21	Vent frais.
»	25	14	28	20	
»	26	8,5	28	24	
»	27	10	26	24	
»	28	9	29	23	
»	29	10	28	22	
»	30	12	28	25	
»	31	15	28	24	
Avril	1	18	29	22	
»	2	20	29	24	
»	3	22	32	26	
»	4	22	32	22	Violent orage avec pluie vers 6 heures du soir.
»	5	20	30	24	*Idem.*
»	6	19	29	24	*Idem.*
»	7	21	32	24	*Idem.*
»	8	22	31	25	*Idem.*
»	9	22	30	26	Orage lointain, pas de pluie.
»	10	»	»	»	A partir de ce jour nous n'avons eu ni orage, ni pluie.

TABLEAU N° IX.

Températures moyennes observées en diverses stations.

	PENANG.	SINGAPORE.	PADANG.	PALEMBANG.	LAHAT.	BENJER-MASSIM.	BANKOK.	SAÏGON.
Décembre	25,3	25,7	26,3	26,7	26,3	26,7	23,8	26,6
Janvier	26,4	25,5	26,6	26,6	26,2	26,8	24,5	26,5
Février	26,9	26,2	26,6	26,8	26,5	27,0	26,2	25,4
Mars	27,5	26,8	26,8	27,2	27,0	27,3	28,1	27,6
Avril	27,5	27,4	27,0	27,2	27,3	27,5	28,6	28,8
Mai	27,0	27,6	27,2	27,4	27,1	27,7	27,9	28,3
Juin	28.0	27,3	27,0	27,0	26,9	27,3	27,9	27,3
Juillet	27,5	27,0	26,7	26,9	26,7	26,6	27,4	27,3
Août	26,9	26 4	26,5	26,8	26,5	26,9	27,4	26,6
Septembre	26,9	26.7	26,6	27,3	26,6	27,2	26,8	26,6
Octobre	25,2	26,8	26,2	27,2	27,1	27.5	26,7	27,1
Novembre	26,3	26,2	26,2	27,0	26,6	27,2	24,9	26,4
Année entière	26,8	26,6	26.6	27,0	26.7	57,1	24,7	27,0

TABLEAU N° X.

Épaisseur moyenne des pluies observées en diverses stations.

	PENANG.	SINGAPORE.	PADANG.	BATAVIA.	BUITENZORG.	DELLII-MEDAN.	BANKOK.	SAÏGON.
Décembre	114	289	587	309	298	162	2	2.3
Janvier	75	297	338	427	394	208	3	0,0
Février	65	159	251	358	401	57	15	0,0
Mars	135	192	408	144	423	96	27	4,6
Avril	176	189	397	100	363	136	83	16,9
Mai	145	168	327	91	326	155	238	127,3
Juin	152	168	263	79	203	192	198	196,5
Juillet	163	171	386	54	249	186	191	214.9
Août	215	207	390	82	236	299	166	194,2
Septembre	257	172	400	67	242	331	308	327,1
Octobre	368	281	587	143	331	324	189	184,6
Novembre	214	260	462	133	285	271	67	115,4
Année entière	2.080	2.553	4.797	1.987	3.751	2.328	1.487	1.483,8

TABLEAU N° XI.

Nombre de jours de pluie observés en diverses stations.

	SINGAPORE.	PALEMBANG.	BENJER-MASSIM.	BATAVIA.	BANKOK.	ATCHIN-EST.	ATCHIN-NORD.	ATCHIN-OUEST.
Décembre	20,0	27,8	23,8	18,9	2,7	11	10	10
Janvier	18,3	22,2	22,7	23,8	1,1	8	9	7
Février	18,0	19,8	19,9	20,8	3,6	3	4	9
Mars	14,7	17,2	17,0	15,5	4,1	5	8	15
Avril	13,7	20,6	14,2	12,0	7,9	8	11	13
Mai	13,3	15,4	14,1	9,3	17,4	7	10	11
Juin	13,3	14,8	12,6	7,8	18,5	7	9	13
Juillet	14,3	14,2	14,8	7,7	18,9	10	10	14
Août	18,3	12,0	10,8	6,0	18,2	14	13	15
Septembre	16,7	9,8	9,3	7,8	20,9	11	9	11
Octobre	17,3	16,2	13,1	10,7	15,7	11	15	17
Novembre	22,0	24,8	16,8	12,0	7,0	14	15	18
Année entière	199,9	214,8	180,1	152,1	136,0	109	123	153

VÉRIFICATION DES PARATONNERRES

DESTINÉS A PROTÉGER LES ÉDIFICES.

(Extrait d'un rapport de la Commission de perfectionnement du ministère des postes et télégraphes.)

La vérification des paratonnerres doit comprendre : 1° celle du conducteur ; 2° celle de la communication avec la terre.

La vérification de la bonne conductibilité du conducteur, qui ne doit offrir qu'une résistance électrique extrêmement faible, est très délicate, car il peut arriver que, par l'effet de la rouille ou par suite d'autres circonstances, la section du conducteur soit partiellement réduite à de très faibles dimensions, sans que les essais électriques puissent accuser une diminution appréciable de sa conductibilité. Il est certain d'ailleurs, ainsi que l'a fait remarquer M. Helmholtz à la dernière réunion du congrès des électriciens, que la continuité d'un conducteur pourrait être complètement interrompue en un point, sans que pour cela le paratonnerre cessât d'être un préservatif contre la foudre, tandis qu'un fil fin qui réunirait deux parties éloignées du conducteur principal pourrait présenter une conductibilité parfaite sans offrir un écoulement suffisant à l'électricité atmosphérique en cas d'orage.

Quoi qu'il en soit, il n'est pas douteux qu'il soit indispensable que les tiges d'un paratonnerre et leur conti-

nuité soient vérifiées avec soin de temps en temps, ainsi que cela a lieu d'ailleurs tous les ans pour les paratonnerres des édifices militaires. Quant aux essais fréquents de cette continuité, on peut les effectuer facilement au moyen d'une pile et d'un galvanomètre, ainsi qu'il sera dit plus loin.

En ce qui concerne la bonne communication avec le sol, qui est au moins aussi importante, elle ne peut être mesurée exactement qu'au moyen de deux autres fils de terre complètement indépendants du premier et plongeant dans le sol à une distance suffisante pour qu'en chaque point il y ait diffusion du fluide électrique, et que le passage de l'électricité de l'un à l'autre ne puisse avoir lieu directement par la couche terrestre qui les sépare. Au moyen de trois expériences galvanométriques on peut avoir la somme des résistances de ces communications prises deux à deux et en déduire la valeur de chacune d'elle. Si x, y et z représentent ces résistances, a, b et c les grandeurs trouvées pour les sommes $x+y$, $x+z$ et $y+z$, on a :

$$x=\frac{a+b-c}{2}, \quad y=\frac{a+c-b}{2}, \quad z=\frac{b+c-a}{2}.$$

Cette expérience, très délicate, et dans laquelle on doit tenir compte de la polarisation des électrodes, ne peut évidemment être confiée à des agents subalternes.

On se contente, en général, pour les paratonnerres de la ville de Paris, par exemple, de plonger en terre à une petite distance du paratonnerre une lame métallique d'un décimètre carré de surface, et de s'assurer que le courant passe lorsqu'on relie cette plaque à la tige, en installant dans le circuit une pile et un galvanomètre. La résistance des deux terres ainsi mesurée est ordinairement très grande ; elle dépasse souvent, paraît-il, 2 à

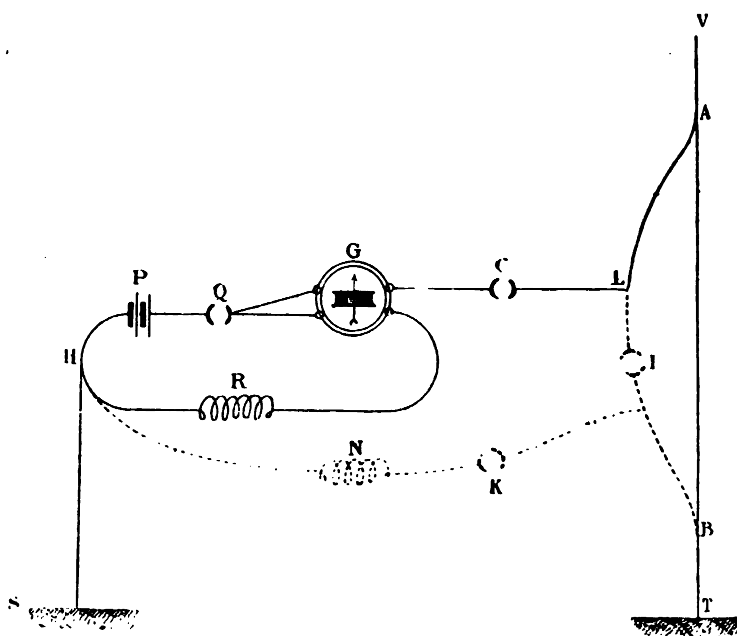
300 ohms, chiffre bien considérable, si l'on remarque que dans les bureaux télégraphiques la résistance opposée au courant par la communication avec le sol à chaque poste n'atteint pas en général 20 à 25 ohms. Il paraît nécessaire de fixer un maximum pour la résistance qu'on doit exiger de la communication des paratonnerres avec le sol; ce maximum semble pouvoir être fixé à 25 ohms (2^k.5 de fil de fer de 4 millimètres de diamètre), et lorsqu'on détermine la résistance totale en prenant deux fils de terre indépendants, on ne doit pas trouver un chiffre supérieur à 5 ohms.

Quant à la mesure de cette résistance, la méthode qui paraît la plus simple et la plus pratique est celle du galvanomètre différentiel.

La commission propose donc d'établir à poste fixe dans tout établissement muni d'un paratonnerre, en outre de la communication principale avec la terre, une seconde communication complètement indépendante de la première, située à 20, 30 mètres ou plus, suivant la nature du terrain et les circonstances locales, dont les agents supérieurs mesureront une fois pour toutes la bonne installation. Cette seconde communication sera en relation avec un fil qui aboutira à la salle d'expériences et pourra, d'ailleurs, être rattachée au conducteur principal du paratonnerre lorsqu'on ne procédera pas aux expériences.

Un fil recouvert de gutta-percha partirait d'un point élevé A du paratonnerre et aboutirait à un interrupteur C isolé à l'état ordinaire; cet interrupteur permettrait de faire communiquer à volonté, au moyen d'un bouchon métallique, le paratonnerre AB avec un des circuits d'un galvanomètre différentiel G; l'autre extrémité du même circuit aboutirait à un second interrupteur Q, en relation

d'autre part avec une petite pile P et avec le second fil de terre S. (Voir la figure ci-dessous).



Quant au second circuit du galvanomètre différentiel, il serait en relation, d'une part, avec l'interrupteur Q, et de l'autre, en un point H, avec le fil de terre auxiliaire H S ; sur son parcours serait placée une résistance R égale à celle qui ne doit pas dépasser la communication par le sol entre H et T, soit environ 50 ohms.

Pour faire l'expérience, on commencerait par fermer le circuit local en enfonçant la cheville de l'interrupteur Q, ce qui permettrait de reconnaître, par la déviation de l'aiguille, si la pile P est en bon état ; puis on placerait la cheville du second interrupteur C. L'aiguille

du galvanomètre devrait revenir au repos ou même passer de l'autre côté du zéro, si la résistance de la terre est inférieure à la résistance R ou à 50 ohms, c'est-à-dire si le paratonnerre se trouve dans de bonnes conditions. Dans le cas où la déviation ne changerait pas de sens, il y aurait lieu de voir si la conductibilité de la tige du paratonnerre AB n'est pas interrompue, ou si les communications avec la terre ne sont pas défectueuses, ce qui pourrait arriver, par exemple, si l'une d'elles étant formée d'une plaque plongeant dans l'eau, le niveau s'était abaissé assez pour la laisser à sec.

Cette recherche pourrait être confiée aux soins des agents supérieurs, qui seraient prévenus par le gardien du mauvais état des communications ; mais il est facile de pousser plus loin l'expérience. Il suffirait d'avoir un second fil LB établissant la communication entre le commutateur C et le pied du paratonnerre, sur le parcours duquel se trouverait installé un interrupteur I, et de relier ce fil au point H par un conducteur muni également d'un interrupteur K.

A l'état normal le circuit serait fermé à l'interrupteur I par un bouchon métallique, ce qui fournirait une seconde communication AIT entre le sommet du paratonnerre et la terre ; pour faire le premier essai, tel qu'il a été indiqué plus haut, il suffirait de déboucher l'interrupteur I et de procéder comme il a été dit. Pour s'assurer de la continuité du paratonnerre on enfoncerait des bouchons métalliques dans les trois interrupteurs K, C et Q ; les deux circuits du galvanomètre différentiel étant fermés, l'aiguille devrait rester au repos ou dévier sous l'action du courant qui traverse la tige, si la résistance du circuit HNKBALC est inférieure à celle du rhéostat R. Une résistance un peu inférieure à R installée

en N donnerait encore plus de précision à cet essai et permettrait de s'assurer que la tige du paratonnerre et les fils auxiliaires n'offrent qu'une résistance insignifiante et sont par conséquent en bon état. S'il était reconnu que le courant qui doit traverser le paratonnerre ne passe pas, on trouverait le défaut en disposant un fil conducteur en communication d'un côté avec l'interrupteur K et dont on promènerait l'autre extrémité sur les divers points du paratonnerre de B en A.

Dans le cas enfin où l'expérience aurait démontré le bon état du conducteur principal, il y aurait lieu de vérifier de même le fil secondaire HS, et enfin la communication avec la terre. Tous ces essais ne peuvent présenter aucune difficulté et n'exigent aucun instrument de précision.

Le galvanomètre peut avoir la forme ordinaire des galvanomètres de postes télégraphiques ; 12 à 15 tours de fil pour chacun des circuits paraissent très suffisants. Quant à la pile, elle peut se composer simplement d'un ou deux éléments Leclanché qui bien fermés peuvent durer pendant plusieurs années sans qu'il soit besoin d'y toucher.

Nous avons indiqué 50 ohms comme limite de la résistance entre les deux terres indépendantes : peut-être y aurait-il lieu, dans chaque cas particulier, d'examiner si cette limite est suffisante ou s'il ne convient pas de fixer un chiffre un peu différent. Ce chiffre doit dépendre de la plus ou moins bonne installation des fils de terre.

Pour éviter tout danger, il convient que les commutateurs C et K qui doivent se trouver dans la salle d'expériences, n'aient, en temps ordinaire, aucune commumunication avec le paratonnerre, ce qu'on évitera en détachant les fils qui les relient au conducteur A I B, si

ce dernier est extérieur, ou en enlevant en A et en B la communication du fil AIB avec le paratonnerre.

Lorsqu'il existe une communication télégraphique avec un poste situé à une certaine distance, l'établissement d'un second fil de terre HS est inutile. Il suffit de relier le point H avec ce fil télégraphique, mis lui-même directement en communication avec la terre à son autre extrémité au moment de l'expérience; mais alors la résistance R doit être augmentée d'une quantité égale à la résistance de ce conducteur.

NOTE

SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DU

POSTE TÉLÉGRAPHIQUE CENTRAL DE PARIS.

La station télégraphique centrale de Paris est éclairée, depuis le mois de février dernier, au moyen de la lumière électrique.

Avant de réaliser cette application, des essais comparatifs préliminaires avaient été effectués, dès l'année 1882, avec l'arc voltaïque et l'incandescence; des raisons de convenance locale, qui ne préjugent en rien la question de supériorité d'un système sur l'autre, ont fait donner la préférence à la lampe à arc, dont M. Cance est l'inventeur.

Un spécimen du régulateur Cance figurait à l'exposition de 1881; nous en avions vu en outre fonctionner quelques autres dont la fixité relative nous avait frappé; enfin, nous avions constaté qu'il se prêtait à une certaine divisibilité de la lumière, que comporte essentiellement l'éclairage des salles d'appareils du poste central. C'est ce qui nous a décidé à le proposer au choix de l'administration.

Description du régulateur. — Dans la lampe Cance, le point lumineux est fixe ou à peu près. On obtient ce résultat au moyen d'un système de quatre poulies accouplées deux à deux, l'une ayant un diamètre double de

l'autre; les deux grandes sont reliées au porte-charbon positif, les plus petites au négatif, et de telle sorte que les deux charbons se rapprochent ou s'écartent en même temps et dans les proportions de la consommation normale, le charbon positif s'usant deux fois plus vite que le charbon *négatif* (*).

Le régulateur proprement dit est un solénoïde à gros fil; M. Cance en a imaginé des dispositions variées; nous ne nous arrêterons qu'à la dernière solution qui nous paraît de beaucoup la meilleure et qui est la seule appliquée aux lampes du poste central.

L'ensemble des deux porte-charbons obéit à une vis sans fin, montée dans l'axe de l'appareil, par l'intermédiaire d'un bras armé d'une goupille qui frotte sur le filet de cette vis.

L'action persiste tant que les extrémités des deux charbons ne sont pas en contact. Si on veut les maintenir séparées, il faut donc empêcher la vis sans fin de tourner et voici comment on y parvient.

La lampe comprend deux solénoïdes à gros fil AB, A'B' parallèles à son axe, embrochés en tension dans le circuit de l'arc, et munis chacun d'un noyau mobile. Les deux noyaux soutiennent un anneau métallique CD, que traverse la vis centrale, et qui peut s'élever ou s'abaisser dans des limites très étroites, réglées par les vis-butoirs V (*fig.* 1).

Une sorte d'écrou mobile $a\ a'$ engrène avec la vis cen-

(*) Un autre essai intéressant d'éclairage électrique se poursuit, depuis le mois d'octobre, dans les baraquements provisoires de la recette principale des postes au Carrousel.

La lumière est fournie par un millier de lampes à incandescence Swan et des accumulateurs Faure. Lorsque le régime sera établi dans des conditions définitives et normales, nous nous proposons d'en relater les résultats dans une note spéciale.

trale au moyen de deux goupilles et s'appuie d'autre part sur un bourrelet *bb'* fixé sur la vis et faisant légèrement saillie au-dessus de l'anneau inférieur CD, de sorte que, dans la position d'inactivité, l'anneau et l'écrou sont séparés par un intervalle d'un millimètre environ et la vis sans fin peut se mouvoir en toute liberté.

Fig. 1.





Lampe Gance.

Mais dès que le courant agit sur les solénoïdes, l'anneau CD est soulevé et vient exercer une pression sur l'écrou qui est ainsi rendu fixe et immobilise à son tour la vis centrale.

Le jeu du frein est réglé au moyen des butoirs V et des vis sur lesquelles reposent les extrémités inférieures des noyaux des solénoïdes. Son action est facile à saisir ; le régime de la lampe une fois établi, à mesure que les charbons sont brûlés, l'arc augmente, et, par suite, la résistance au passage du courant ; les noyaux des solénoïdes s'abaissent et, l'anneau CD ne pressant plus sur l'écrou, la vis centrale peut tourner, entraînée par le poids de la monture des charbons, et ceux-ci reprennent leur distance normale.

Ce mécanisme est relativement simple et ingénieux ;

il fonctionne en général avec régularité et ne semble être en défaut que lorsque les charbons, par une cause quelconque, arrivent au contact et se collent.

Le magnétisme développé dans les solénoïdes n'est plus alors suffisant pour opérer leur séparation ; c'est de la combustion seule qu'il faut l'attendre, et, pendant ce temps, la lumière prend une teinte jaunâtre et perd très sensiblement de son éclat.

Source électrique. Distribution. — L'électricité qui actionne les trente-six lampes en fonction est fournie par neuf machines Gramme à courant continu, type d'atelier ; chacune de celles-ci alimente donc quatre foyers. M. Cance avait essayé de produire avec une machine cinq arcs voltaïques dont l'intensité était naturellement plus faible, mais dont l'emploi présentait certains avantages au point de vue de la répartition de la lumière, mais le réglage de ces lampes est alors plus délicat, l'arc diminue de grandeur, et souvent assez fréquemment les charbons arrivent au contact ; de là augmentation d'intensité du courant et de chaleur, surtout sensible dans l'intérieur de la machine et susceptible d'en causer la détérioration.

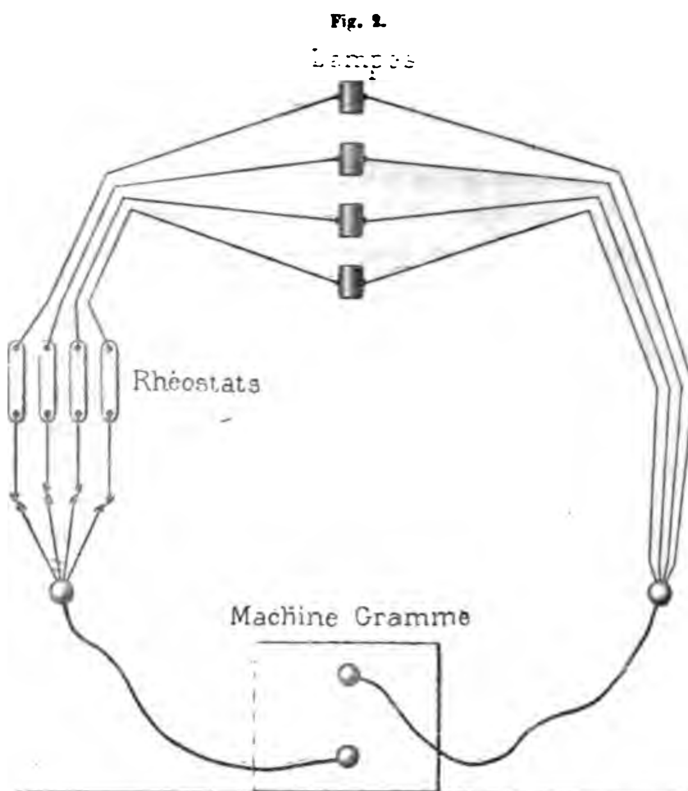
Nous pensons donc que pour réaliser un régime stable et sans danger, il ne faut pas dépasser quatre foyers par générateur.

Les quatre circuits de chaque machine sont égalisés comme résistance au moyen de quatre rhéostats. Chacun d'eux est muni en outre d'un commutateur qui permet de l'ouvrir ou de le fermer à volonté. (*fig*. 2).

D'après les expériences qui ont été renouvelées à différentes reprises, la chute de potentiel aux bornes de la génératrice est en moyenne de 90 volts ; l'intensité du courant dans la section commune aux quatre circuits est de

27 à 28 ampères; d'où l'on déduit, pour la résistance des conducteurs y compris l'inducteur et l'induit, $3^{oh},21$.

Fig. 2.



D'autre part, la résistance *totale* des quatre circuits réunis, lorsque les charbons des lampes sont en contact et à froid, a été trouvée de $2^{oh},85$, ce qui donne pour la résistance des 4 arcs réunis 0,36 et, pour chacun d'eux, $1^{oh},44$.

Nature et dimension des charbons. — Le régulateur Cance est construit pour recevoir des charbons d'une

longueur totale de 0m,60 au maximum, 0m,40 au positif et 0m,20 au négatif et du diamètre de 0m,009 ou 0m,010; nous en avons essayé de toute provenance, des maisons Carré, Mignon et Rouart, Lévy et Siemens. C'est celui de ce dernier fournisseur qui a donné les meilleurs résultats sous le double rapport de la consommation et de l'homogénéité.

Les charbons français brûlent à raison de 0,07 à l'heure; ce qui donne, avec les déchets forcés, 0,10. Nous n'avons encore utilisé le charbon Siemens que pendant quelques jours, mais nous avons lieu de penser qu'il se consumera en deux fois moins de temps; il coûte plus cher, mais l'excédant de dépense sera plus que compensé par la durée; et il y a tout intérêt, au point de vue des convenances du service, à ce qu'on renouvelle les charbons le moins souvent possible.

Mode d'installation. — La lumière électrique est installée pour éclairer les deux salles de manipulation du poste central.

La plus grande a une superficie de 800mq ; sa hauteur sous plafond étant de 7m,50, il a été facile d'y placer les vingt foyers qu'elle nécessite à une hauteur de 3m,50 au-dessus du sol, et il a suffi d'entourer l'arc d'un globe de verre dépoli, d'un diamètre de 0m,175 pour le rendre supportable à l'œil.

La seconde salle d'une surface de 540 mètres, n'a que 3 mètres sous plafond.

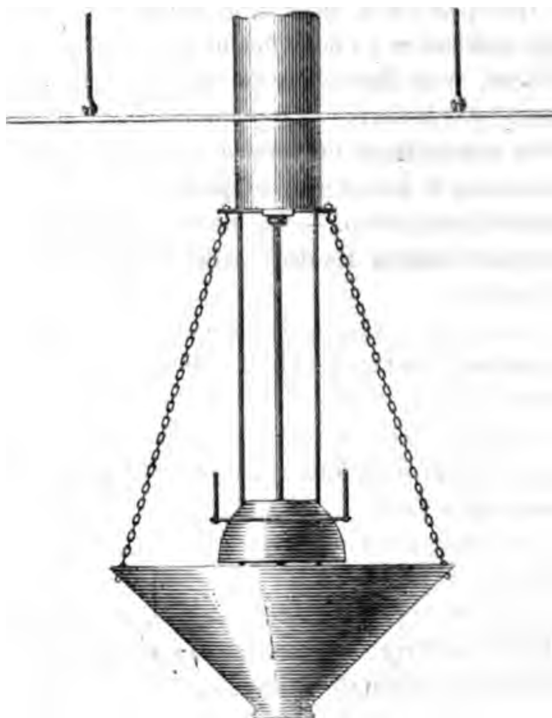
Comme le régulateur Cance a une longueur d'un mètre dix centimètres, le point lumineux, qui est toujours à 0m,80 de l'anneau de suspension, ne peut être élevé à plus de 2m,20 au-dessus du sol et, partant, fatiguerait la vue, s'il n'était enveloppé, comme dans la grande salle, que d'un globe dépoli.

D'autre part, le plafond est en grande partie vitré, par conséquent impropre à renvoyer la lumière par réflexion.

En raison de ces circonstances locales, nous avons été amené à adopter un dispositif analogue à celui que M. Jaspar applique à la gare du Nord de Bruxelles et dont on a pu voir un spécimen à l'exposition de 1881.

Pour remédier à l'inconvénient du plafond de verre, un réflecteur plein, en tôle peinte en blanc, a été fixé

Fig. 3.



au-dessus de chacun des foyers ; il a la forme circulaire et $1^{m},50$ de diamètre. (*fig.* 3).

L'arc est entièrement masqué par deux écrans ; l'un est un abat-jour en porcelaine blanche semblable à ceux dont on fait un fréquent usage avec les becs de gaz ordinaires.

Il est placé au-dessous du régulateur dans une position renversée, c'est-à-dire sa plus petite ouverture en bas, et de telle sorte que les bords supérieurs soient à peu près dans le plan horizontal du point lumineux.

L'arc est recouvert par le haut d'une calotte hémisphérique de $0^{m},175$ de diamètre également en porcelaine opaque. Il se trouve donc enveloppé de tous côtés, et par une surface transparente relativement étendue dont tous les points répandent une lumière douce et agréable à l'œil.

Ce système d'abat-jour nous a paru bien préférable à l'écran opaque employé par M. Jaspar et que nous avons également essayé.

Outre que l'opacité oblige à recourir à des foyers de grande intensité, et, par conséquent, semble désavantageuse au point de vue économique, elle donne aux salles de travail un aspect qui n'a rien de gai ni d'attrayant.

Prix de revient. — Nous avons dit que l'éclairage électrique du Poste central est réalisé au moyen de neuf machines Gramme, type d'atelier, marchant à une vitesse de 1.200 tours à la minute.

Chacune d'elle absorbe 4 chevaux, non compris la perte de force vive par les courroies, que l'on peut évaluer sans exagération à 2 chevaux ; c'est donc un total de 38 chevaux affectés à ce travail.

L'administration loue la force motrice qu'elle emploie et la paie au prorata de son importance, sous réserve d'un minimum de 20 chevaux.

Pour 20 chevaux et au-dessous, le prix est de 0f,25 par heure et par cheval ; pour 25 chevaux, il n'est plus que de 0f,24 et ainsi de suite pour toute augmentation de 5 chevaux jusqu'à 60.

Or, ces 60 chevaux sont nécessaires lorsque la lumière est en activité dans les deux salles à la fois en même temps que toutes les turbines.

C'est donc le moment le plus favorable à sa production économique, et c'est dans ces conditions que nous allons en établir le prix de revient (*).

Il se décompose comme il suit par heure :

Force motrice de 38 chevaux payés 0f,70 l'heure. . . .	6f,46
Entretien et amortissement du matériel (10 p. 100). . .	1 ,00
Ouvriers chargés de l'entretien et de la surveillance des lampes et des machines Gramme.	1 ,10
Charbons des lampes.	4 ,90
Graissage des machines et courroies.	0 ,54
Total.	14 ,00

Les 36 lampes remplacent 250 becs de gaz consommant en moyenne 155 litres à l'heure.

La consommation de gaz correspondante est donc de 38mc,750 qui, au prix de 0f,30 le mètre cube valent 11f,60. La différence en faveur du gaz est donc de 2f,40, soit d'un peu plus de 20 p. 100,

Il convient de remarquer que nous avons fait ce calcul dans les circonstances les plus favorables à la lumière électrique ; en effet, l'éclairage du Poste central ne fonctionne pas dans des conditions uniformes ; celui de la

(*) Dans les *Annales* de mai-juin 1882, nous avons dit que tous les appareils imprimant en caractères romains sont actionnés par des turbines Humblot au lieu de poids. Les pompes qui font marcher ces turbines absorbent 14 chevaux-vapeur. Les trente-six lampes électriques fonctionnent avec 36 chevaux, enfin la perte de force par les courroies de transmission, qui ont dû être multipliées par suite de l'insuffisance de place dans les sous-sols s'élèvent à 10 chevaux. C'est donc bien un total de 60 chevaux qu'il faut dépenser lorsque tous les appareils sont en activité.

petite salle commence, pendant la saison d'hiver, à 4 heures et n'absorbe que 16 chevaux qui coûtent $0^{f},22$ l'heure ; ce n'est qu'à 5 heures et jusqu'à 10 heures du soir que tous les foyers sont en activité.

A partir de 10 heures jusqu'à minuit une partie de la grande salle reste seulement éclairée avec 13 lampes qui nécessitent 13 chevaux-vapeur, fournis à raison de $0^{f},23$ l'un.

On voit ainsi que la lumière électrique revient plus cher de 4 heures à 5 heures et de 10 heures à minuit, que pendant la période de 5 heures à 10 heures à laquelle s'applique la dépense horaire évaluée à 14 francs.

Par contre, si l'on compare les quantités de lumière obtenues par les deux procédés, la supériorité de la lumière électrique s'affirme sans conteste.

Pour chaque foyer nous éteignons environ 7 becs de gaz qui ne représentent guère chacun qu'une carcel 25 centièmes, soit, en totalité, moins de 9 carcels, alors qu'en vertu de son cahier des charges M. Cance s'est engagé à fournir par lampe 40 carcels à travers globe dépoli.

Bien que la mesure photométrique n'en ait pas été faite, nous avons des raisons de penser que l'entrepreneur a rempli ses engagements ; ce serait donc une masse de lumière équivalente à celle de 1.440 carcels qui serait répandue, on peut dire avec profusion, dans les deux salles de manipulation sur une surface totale de 1.340^{mc} : plus d'une carcel par mètre carré superficiel.

Cela peut sembler superflu, mais les exigences du service télégraphique, la disposition et l'agencement des locaux ne permettent pas d'installer l'éclairage dans des conditions plus économiques.

Quant à la fixité de la lumière, les deux facteurs principaux qui en rendent la réalisation délicate et dont il faut chercher à éliminer l'influence, sont la machine motrice et les charbons.

Si le moteur n'est pas de première qualité ou s'il actionne, en même temps que les dynamos, d'autres appareils tels que les pompes des turbines, il est difficile de leur demander une vitesse constante de 1.200 tours à la minute ; il y a toujours en plus ou en moins des variations qui réagissent fatalement sur la production de la lumière.

Mais c'est surtout à perfectionner la fabrication des charbons, dont le rôle est prépondérant, que l'industrie doit appliquer ses efforts.

Si des progrès certains sont déjà obtenus, il en reste encore à faire au triple point de vue de l'homogénéité, de la composition et de la consommation.

Le régulateur a pour mission de corriger dans une large mesure ces actions pertubatrices.

Celui de M. Cance, s'il ne donne pas encore une solution complète, fournit néanmoins une lumière dont les variations, lorsqu'on ne regarde pas le foyer, sont à peu près insensibles à l'œil ; le personnel s'en déclare satisfait, sans parler d'autres avantages, tels que l'amélioration des conditions hygiéniques, dont il bénéficie ; c'est là un résultat sérieux que nous nous plaisons à constat et que nous avons été heureux d'atteindre.

Paris, le 18 novembre 1883.

C. Cael.

ÉTUDE DES COURANTS TELLURIQUES.

Le congrès des électriciens, qui s'est tenu à Paris pendant l'Exposition internationale d'électricité de 1881, a appelé l'attention sur l'intérêt que peut offrir l'observation des courants électriques qui parcourent la surface de la terre et a renvoyé l'étude de cette question à la conférence internationale qui s'est réunie le 26 octobre 1882.

Dans cette conférence, on a émis les vœux :

1° Que certaines lignes, même de petite longueur, indépendantes du réseau télégraphique général dans chaque pays, soient consacrées, d'une manière exclusive, à l'étude des courants terrestres ;

2° Que les grandes lignes, particulièrement les lignes souterraines, soient utilisées le plus fréquemment possible, pour les recherches de même nature, ces lignes étant dirigées de préférence du sud au nord et de l'est à l'ouest, les observations ayant lieu le même jour, par exemple le dimanche, dans les différents pays.

Pour l'année 1883 en particulier, la Commission recommandait que des observations régulières fussent faites aux jours *termes*, déterminés pour les observations polaires internationales, le 1er et le 15 de chaque mois.

Les expériences du 1er et du 15 de chaque mois ont été faites régulièrement à Paris, pendant plusieurs mois,

en faisant arriver successivement divers fils du réseau à un galvanomètre sensible et en observant les déviations de l'aiguille. On a constaté des courants très irréguliers, variant de sens et d'intensité, sans pouvoir en déduire aucune loi, par suite du peu de durée des expériences sur chacun des conducteurs.

Dans les autres pays, des expériences analogues ont été faites aux jours termes, mais je ne crois pas qu'on ait pu en tirer de conclusions précises.

Les courants terrestres n'ont pas pu jusqu'ici être étudiés d'une manière continue par suite de l'impossibilité d'utiliser pour cet objet les fils télégraphiques qui suffisent à peine au trafic. A la suite des grandes perturbations magnétiques seulement on a pu, en relevant les observations faites dans les bureaux par les employés, dresser des tableaux ou des courbes qui donnent une idée approximative de la direction et de l'intensité de ces courants à différents instants.

En France, par suite de la construction récente d'un certain nombre de lignes souterraines, plusieurs fils conducteurs se sont trouvés provisoirement disponibles ; j'en ai profité pour demander à M. le ministre des postes et des télégraphes l'autorisation de les utiliser pour l'étude et l'enregistrement automatique des courants telluriques.

Cette autorisation m'ayant été accordée avec empressement, j'ai fait construire par M. Duboscq un appareil semblable à celui qu'emploie M. Mascart, à Saint-Maur, pour l'enregistrement photographique et simultané des trois composantes du magnétisme terrestre.

L'instrument comprend une horloge ordinaire dont le pendule bat la seconde, et qui est mis en mouvement par un poids de $3^{k},5$ environ ; sa chute, de $1^{m},20$, entretient le mouvement pendant 8 jours.

Un des mobiles fait tourner un axe portant à son extrémité une roue dentée qui engrène avec une crémaillère fixée sur la partie postérieure d'un châssis. Ce dernier, soutenu par un contrepoids, descend de sa hauteur (30 centimètres) en 24 heures. La crémaillère s'arrête à une petite distance du sommet, de sorte que, quand le châssis arrive à l'extrémité de sa course, il devient libre et tombe sur un arrêt en se séparant du mouvement d'horlogerie qui continue à marcher; on reremonte le châssis, pour l'amener en haut de sa course, en tirant la ficelle qui soutient le contrepoids.

Sur ce châssis on pose un cadre dans lequel est placé le papier sensibilisé qui doit recevoir la trace des phénomènes à observer, courants, composantes magnétiques, etc..... Ce cadre porte deux glaces, une d'elles laisse passer la lumière, l'autre est recouverte d'une feuille de papier noirci portant en marge des découpures qui correspondent aux 24 heures de la journée.

Le papier préparé est placé entre les deux glaces, la face sensibilisée du côté du verre poli. Lorsque, au bout de 24 heures, le châssis se trouve au bas de sa course, on l'enlève, et en recouvrant la glace polie on expose pendant un instant l'autre face à la lumière qui fait marquer les découpures sur le papier, à travers son épaisseur. On a soin de noter chaque fois l'heure du commencement de l'expérience.

Le papier destiné à l'enregistrement est préparé au gélatino-bromure d'argent. On l'achète prêt à être placé dans le châssis, en ayant soin de le mettre à l'abri de toute lumière jaune; pendant les manipulations le laboratoire doit être éclairé seulement par une lampe munie d'un verre rouge.

Pour faire ressortir l'image, on plonge le papier, après

l'avoir enlevé du châssis, dans un mélange par parties égales des deux dissolutions suivantes :

1° 250 grammes d'oxalate de potasse dans un litre d'eau ;

2° 250 grammes de sulfate de fer et 2 grammes d'acide tartrique dans un litre d'eau.

L'image sort au bout de 3 à 4 minutes et fournit des courbes noires très nettes. On fixe les épreuves en les immergeant dans un bain formé de 300 grammes d'hyposulfite de soude et de 30 grammes d'alun de potasse dissous dans un litre d'eau. L'alun est destiné à empêcher la gélatine de se détacher lorsqu'on fait sécher le papier entre deux feuilles de papier brouillard.

La largeur du papier consacré à chaque observation est de 7 centimètres; mais l'appareil étant construit pour trois observations simultanées, la largeur des feuilles est de 21 centimètres ; quant à leur longueur, elle est, ainsi que nous l'avons dit plus haut, de 30 centimètres.

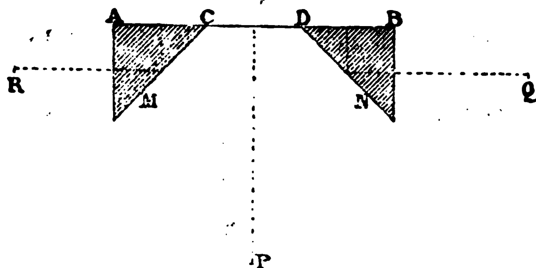
La lampe, alimentée par du gazogène, est entourée d'une enveloppe métallique dans laquelle sont percées trois ouvertures, dont une se trouve sur la normale et les deux autres sur une parallèle horizontale à la face de l'appareil et du papier destiné à l'enregistrement. Trois lentilles ayant un foyer de 7 à 8 centimètres sont fixées sur ces ouvertures et envoient la lumière, en faisceau horizontal, sur des petits miroirs fixés aux instruments dont on veut enregistrer les indications, instruments qui, dans le cas actuel, sont trois galvanomètres.

Ces miroirs réfléchissent l'image de la lumière sur une fente placée au-dessous de la lanterne, et derrière laquelle se meut la bande de papier.

Les galvanomètres sont placés à $0^m,90$ de l'enregistreur. Les miroirs, que supportent les fils de suspension

sont légèrement sphériques et leurs foyers se trouvent sur la fente de l'enregistreur.

Lorsque les miroirs sont plans, on place en avant une lentille qui donne le foyer lumineux au même point.



Le miroir P placé en face de l'instrument renvoie directement la lumière au milieu CD de la fente AB de l'enregistreur ; pour les deux autres, Q et R, la lumière est ramenée normalement à la fente AB par deux prismes de verre M et N. Le milieu CD du papier donne les courbes qui correspondent au galvanomètre P, les deux côtés, AC et DB, celles qui correspondent aux galvanomètres R et Q.

Les galvanomètres que nous avons employés pour l'étude des courants terrestres sont des galvanomètres apériodiques de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval, comprenant un aimant vertical entre les branches duquel se meut un petit cadre vertical autour duquel est enroulé le fil conducteur qui forme environ 50 tours.

Ce cadre (*) est maintenu par deux fils d'argent très ténus, le supérieur est attaché à l'extrémité d'une tige qui peut recevoir deux mouvements indépendants, l'un de rotation et l'autre de translation verticale ; le fil in-

(*) *Annales télégraphiques*, numéro de Juillet-août 1882.

férieur est fixé à l'extrémité d'une tige élastique en cuivre dont la tension est réglée par une vis. Au milieu du cadre est disposé un cylindre de fer doux qui s'aimante sous l'influence des pôles de l'aimant et augmente l'intensité du champ magnétique.

Les deux fils qui maintiennent le cadre sont en communication avec deux bornes extérieures et servent à amener le courant dans le fil conducteur; le couple de rotation de ces fils, produit par un déplacement angulaire du cadre sous l'influence du courant, sert à mesurer l'intensité de celui-ci, à laquelle il est sensiblement proportionnel tant que les déviations ne dépassent pas 10 à 15 degrés.

Ainsi qu'il a été dit plus haut un petit miroir collé au fil supérieur réfléchit sur la fente de l'enregistreur l'image de la lumière placée au-dessus ; le déplacement du point lumineux, dont la bande de papier garde l'empreinte, fait connaître la déviation du cadre et par suite l'intensité du courant.

Les deux bornes d'entrée et de sortie des courants sont réunies par un fil de dérivation (shunt) dont on règle la résistance suivant la nature des expériences à faire. Pour l'étude des courants telluriques nous avons fait varier cette résistance de 1/40 à 1/5 de celle du fil du cadre. Les courants d'induction qui se développent dans le cadre lorsqu'il se déplace, et qui traversent le shunt amortissent rapidement les vibrations, de sorte que l'image du point lumineux atteint à peu près instantanément la position fixe qui correspond à l'intensité du courant reçu par l'instrument.

Il est nécessaire de déterminer fréquemment la constante du galvanomètre, qui peut changer par suite de la variation de tension des fils qui soutiennent le cadre,

et dépend du shunt employé. On prend chaque matin cette constante en faisant traverser aux trois galvanomètres, au moment où la feuille de papier de l'enregistreur commence à se mouvoir, un courant local produit par un élément Daniell à travers une résistance fixe de 20.000 ohms. Un premier trait correspond au cas où aucun courant ne passe, un second au cas où le courant d'essai est envoyé dans un sens, et un troisième au cas où ce courant est envoyé en sens opposé. On note l'heure exacte à laquelle cesse ce dernier courant. L'intensité du courant qui produit les deux dernières traces est d'environ $\frac{1 \text{ volt}}{20.000 \text{ ohms}}$, ou $\frac{1}{20.000}$ d'ampères.

Ce qu'il importait de mesurer était non l'intensité des courants telluriques, qui varie suivant la résistance des circuits, mais la différence de potentiels, ou la force électromotrice, entre les deux points du sol mis en relation avec le fil télégraphique. Dans ce but j'ai rendu dans toutes les expériences la résistance totale des circuits constante par l'addition de bobines et de rhéostats. Cette résistance constante a été fixée à 10.000 ohms environ, résistance considérable qui a l'avantage d'éliminer les effets secondaires. Cette résistance a été réduite à 1.000 ohms pour les lignes de faibles longueurs (de 8 à 10 kilomètres).

Les lignes qui ont été soumises, jusqu'ici aux expériences sont celles de Paris à Nancy, Lille, Lyon, le Hâvre, et celles du poste central de Paris (103, rue de Grenelle) aux guérites de coupures des fils aériens à la porte de Flandres et à la porte de Vincennes.

J'ai été secondé dans cette étude par M. Henri Terral, agent spécial, attaché à l'École supérieure de télégraphie, qui est parvenu promptement à obtenir des épreuves très

nettes et a eu l'idée de les reproduire par les procédés photographiques ordinaires, avec le concours de Hoffmann (*).

Je vais indiquer les principaux résultats de nos premières expériences.

Un des faits importants qui ressort de la comparaison des courbes est que la direction et l'intensité des courants telluriques dépendent uniquement de la différence de potentiel entre les deux points où le fil conducteur est en communication avec la terre et sont indépendantes de son trajet. Ainsi, de Paris à Nancy, deux fils, l'un aérien, passant par Châlons, et l'autre souterrain, passant par Reims, fournissent toujours des courbes absolument identiques.

Il résulte de cette observation que les courants secondaires dus à l'induction, aux dérivations et à l'électricité atmosphérique ne modifient pas les courbes, ce qui tient à l'instantanéité de ces courants, et à ce que l'enregistrement qui correspond à une heure occupe seulement un centimètre de largeur sur la feuille de papier qui reçoit l'impression lumineuse.

On peut de plus en conclure, contrairement à une opinion généralement admise, que les lignes souterraines ne sont pas plus influencées que les lignes aériennes par les courants terrestres. Si ces courants troublent un peu plus la transmission sur les lignes souterraines, cela tient à ce que leurs conducteurs, en cuivre, offrent moins de résistance et à ce qu'on emploie pour les desservir des piles plus faibles et des appareils plus sensibles.

(*) Je profite de l'occasion pour remercier M. Carême, contrôleur des télégraphes au poste central de Paris, du concours qu'il nous a prêté, et M. Pierre, préparateur, de M. Mascart au Collège de France, qui nous a aidé au début de nos expériences.

Non seulement les courants telluriques sont identiques sur deux fils qui aboutissent aux deux mêmes points, mais encore ils sont très sensiblement les mêmes sur deux fils de même longueur qui ont à peu près la même direction, de Paris à Reims et de Paris à Châlons, par exemple.

Pour deux lignes de longueurs différentes, mais qui ont la même direction, par exemple de Paris à Nancy et de Paris à Châlons, les courants qui parcourent les fils suivent exactement les mêmes phases, mais leur intensité est sensiblement en raison de la distance des points extrêmes, la résistance totale étant bien entendu la même dans les deux cas.

En augmentant la résistance de la dérivation entre les bornes du galvanomètre pour le fil le plus court, en la doublant par exemple, pour le fil de Paris à Châlons, on retrouve identiquement les mêmes courbes que pour le fil le plus long, Paris-Nancy.

Le résultat est le même lorsqu'on compare les courbes que donnent deux grandes lignes situées des deux côtés de Paris et sur le prolongement l'une de l'autre, telles que Paris-Lille et Paris-Lyon. Mais les courants sur la ligne de Paris-Lyon sont naturellement beaucoup plus intenses et indiquent toujours une différence de potentiels proportionnelle à la distance des points extrêmes.

Cette loi se vérifie même lorsqu'on compare une grande ligne, comme celle de Paris à Châlons, avec une ligne très courte, de 8 à 10 kilomètres de longueur, allant du poste central de Paris (103, rue de Grenelle-Saint-Germain) à la caserne située près de la porte de Flandres, ou à la guérite télégraphique qui se trouve à la porte de Vincennes.

En conservant pour l'observation des courants sur ces

deux dernières lignes la résistance totale de 10.000 ohms, on n'obtient que des variations insignifiantes d'intensité; mais, en réduisant cette résistance à 1.000 ohms on retrouve les mêmes variations que sur la ligne de Paris à Châlons, avec une légère différence toutefois, pour la ligne de la porte de Flandres, tenant à ce que sa direction n'est pas absolument la même que celle de Paris à Châlons.

Lorsque la résistance totale est réduite à 1.000 ohms, on constate l'effet de la différence de force électromotrice due aux plaques de terre, qui a pour résultat de déplacer un peu les courbes par rapport à l'axe correspondant à l'absence de tout courant; mais ce déplacement ne gêne en rien l'observation; il suffit, en effet, d'orienter convenablement le miroir supporté par le fil de suspension pour que les traces laissées par la lumière se trouvent dans l'espace consacré à l'enregistrement.

Il paraît donc probable qu'on pourra arriver à étudier complètement les variations du courant tellurique au moyen d'un certain nombre de fils de faible longueur rayonnant d'un point central.

J'ai voulu m'assurer que les courbes du courant tellurique ne sont pas troublées par l'effet des transmissions télégraphiques du poste central, dont nous empruntons le fil de terre. Dans ce but nous avons pris d'abord une seconde communication avec le sol située à une trentaine de mètres de celle qui sert aux transmissions, et nous avons employé un des deux fils de terre pour un des conducteurs de Paris à Nancy et le second pour l'autre conducteur; les courbes ont été identiques. Nous avons ensuite pris la terre à Viroflay pour un des conducteurs et à la station centrale pour l'autre; nous avons encore obtenu des résultats identiques. Enfin, nous avons comparé

un fil de Paris à Nancy avec un fil allant de Châlons-sur-Marne à Viroflay; nous avons toujours obtenu les mêmes courbes, modifiées seulement par la variation de la distance des points extrêmes.

En réduisant convenablement le shunt des galvanomètres on peut, presque toujours, obtenir avec des fils qui ont une même direction, mais des longueurs différentes, des courbes qui peuvent se superposer.

Toutes les expériences ont été répétées pendant plusieurs jours et ont toujours donné les mêmes résultats.

Les courants telluriques varient constamment de sens et d'intensité; parfois, au milieu d'une période relativement assez calme on observe un courant qui s'accroît rapidement pendant une heure ou deux, puis décroît et change de sens. La force électromotrice sur une ligne de 350 kilomètres comme celle de Paris à Nancy atteint souvent 2, 3 et 4 volts.

Pendant les orages magnétiques, et il s'en est manifesté plusieurs pendant la durée de nos expériences, la force électromotrice atteint des valeurs beaucoup plus considérables, et change rapidement de sens. L'image du point lumineux réfléchie par le miroir de l'aiguille sort à chaque instant de l'espace consacré à l'enregistrement.

Pour deux lignes qui sont situées dans le prolongement l'une de l'autre, les courbes sont semblables, mais de sens opposé naturellement. On constate seulement quelques différences lorsque les lignes sont très longues comme celles de Paris à Lille et de Paris à Dijon ou à Lyon, et encore ces différences peuvent-elles tenir à ce que les lignes n'ont pas absolument la même direction.

On peut déduire des courbes obtenues sur deux lignes ayant des directions différentes comme celles de Paris à

Nancy et Paris à Dijon, la véritable direction du courant tellurique à chaque instant. En effet, la différence de potentiel étant proportionnelle à la distance des points extrêmes sur une même ligne droite, on peut facilement trouver sur les deux lignes deux points dont le potentiel est le même; la droite qui passe par ces deux points est sensiblement une courbe équipotentielle, et la normale à cette ligne représente la direction du courant tellurique.

Les courants circulent généralement dans la direction du nord-ouest au sud-est et réciproquement, mais souvent leur direction change et ils vont quelquefois du nord au sud, du nord-est au sud-ouest, de l'est à l'ouest et réciproquement.

Il est encore impossible de donner la loi générale de ces courants, si tant est qu'on puisse y parvenir. Toutefois il résulte de la comparaison des courbes obtenues pendant plusieurs mois, qu'en France, tous les matins de 9 heures à midi, le courant marche du nord au sud, ou plutôt du nord-nord-est au sud-sud-ouest, et atteint son maximum sûr d'intensité vers 10 heures et demie.

Les courants telluriques ont évidemment une liaison intime avec les variations du magnétisme de la terre. Ils en peuvent être la cause principale ou l'effet; cette question ne pourra être résolue que par une comparaison des courbes électriques et des courbe magnétiques. L'étude attentive des premières permettra également de décider si les mouvements du soleil et de la lune ont une influence inductrice, comme le pensent quelques savants.

A l'occasion de mes expériences sur les courants telluriques, M. Larroque a envoyé à l'Académie des sciences la note suivante qui a été lue dans la séance du 10 décembre 1883 :

« A diverses reprises, on a cherché à étudier les courants telluriques par le système des dérivations, en utilisant des lignes télégraphiques. Je demande la permission de signaler de nouveau quelques-unes des causes d'erreur que présentent ces sortes de recherches (*).

« Admettant que la terre est sillonnée de courants, il était tout naturel qu'on pensât à établir des dérivations sur ces courants, pour en reconnaître l'orientation et l'intensité. On procéda donc comme s'il se fût agi d'établir une dérivation sur un courant de pile.

« En réalité, sur la surface terrestre, les choses sont loin d'être aussi simples. Sans doute, il est presque indubitable que la terre est sillonnée de courants, mais il est non moins certain que notre globe manifeste, en tous les points de sa surface, des charges statiques : le potentiel tellurique varie incessamment, change de signe, par zones plus ou moins étendues. Il résulte de cet état de choses qu'un fil conducteur, mis en relation par ses deux extrémités avec la terre, sera parcouru par un courant qui peut aussi bien provenir de la mise en relation de deux zones de potentiels contraires, que la dérivation du courant tellurique.

« Les contacts établis à chaque extrémité de la dérivation constituent encore une cause d'erreur. Il suffit, pour s'en convaincre, de faire les expériences suivantes : on prend deux vases de verre, dans lesquels on introduit des terres de diverses natures, légèrement imbibées d'eau ; un siphon relie les contenus des deux vases ; un fil de platine, dont les deux bouts sont implantés dans les terres, forme les électrodes et le circuit : on a ainsi une véritable pile. Si les deux vases contiennent de la même

(*) Voir mon Mémoire *Contributions à l'étude des orages*, présenté pour le Concours Bordin, 1883.

terre, il suffit de chauffer l'un d'eux pour obtenir un courant; si les deux vases contiennent des terres de nature différente, on obtient un courant dont l'intensité et le sens dépendent de la composition et de la température relative des terres.

« Il importe donc, si l'on veut employer la méthode de dérivation, d'éliminer l'action relative aux deux contacts telluriques, action variable selon leurs températures, et, pour cela, il faut la déterminer par l'expérience. Il importe aussi de connaître, à chaque instant, le potentiel statique du sol aux deux contacts.

« L'induction électrostatique de la terre sur le fil vient encore troubler les indications.

« Quant à l'intensité des courants, il faut observer qu'elle dépend, dans une assez large mesure, de la résistance du sol, et que, par suite, ses variations accidentelles, diurnes et mensuelles, sont liées à la température et au degré d'humidité du sol.

« Les lignes télégraphiques aériennes, à fil nu, ne se prêtent pas à l'étude des courants telluriques, parce qu'il s'y produit, ainsi qne l'a démontré M. du Moncel, des courants accidentels, dus aux actions magnétiques, thermo-électriques et hydro-électriques exercées sur le fil. Il est absolument nécessaire que la ligne soit formée d'un fil très peu résistant, non magnétique, bien isolé et absolument abrité de l'humidité. »

J'ai cru devoir faire à cette communication la réponse suivante (Comptes rendus du 31 décembre 1883) :

« Je trouve, dans un des derniers numéros des *Comptes rendus*, une note de M. Larroque, relative aux expériences que j'ai faites sur les courants telluriques, et à la-

quelle je demande la permission de répondre brièvement.

« Le potentiel, en un point de la terre, peut varier par suite de circonstances accidentelles, telles que la décharge d'un nuage orageux ; mais cette variation est infiniment courte et l'équilibre se rétablit à peu près instantanément. Il en résulte seulement dans les fils conducteurs des courants d'une durée très brève qui, comme je l'ai expliqué dans la note insérée au numéro du 26 novembre des *Comptes rendus*, ne donnent aucune trace sur le papier photographique, l'espace consacré à une heure étant seulement de $0^m,01$.

« Suivant M. Larroque, j'aurais dû tenir compte des courants qui se développent au contact des extrémités de la ligne avec le sol.

« Nos plaques de terre sont formées de masses de fer qui donnent, en effet, lieu à des courants, par suite de leur différence d'action chimique sur l'eau qui les environne. Mais la force électromotrice qui en résulte, que nous connaissons depuis longtemps et que nous avons mesurée, est très faible ; elle ne dépasse pas, en général, 1/10 de volt; tandis que celle qui produit le courant tellurique, sur une ligne comme celle de Paris à Nancy, atteint souvent, même en temps ordinaire, 3, 4 et 5 volts. La force électromotrice due à l'action des électrodes est d'ailleurs sensiblement constante pendant une certaine période de temps et ne peut modifier la forme des courbes ; son seul effet est de déplacer leur position par rapport à l'axe.

« M. Larroque pense que j'aurais dû faire connaître à chaque instant *le potentiel statique du sol aux deux contacts*. Je n'ai pas songé à faire cette détermination, parce que je ne connais pas de moyen de déterminer la

valeur absolue du potentiel en un point, et que je me proposais seulement de mesurer la différence des potentiels entre les deux extrémités d'une ligne.

« L'*induction électrostatique de la terre*, dit M. Larroque, *vient encore troubler les indications.* Je me demande ce qu'il entend par induction électrostatique de la terre, pour des fils qui sont en relation avec elle.

« M. Larroque ajoute que *l'intensité des courants dépend, dans une assez large mesure, de la résistance du sol, et que, par suite, ses variations accidentelles sont liées à la température et au degré d'humidité du sol.*

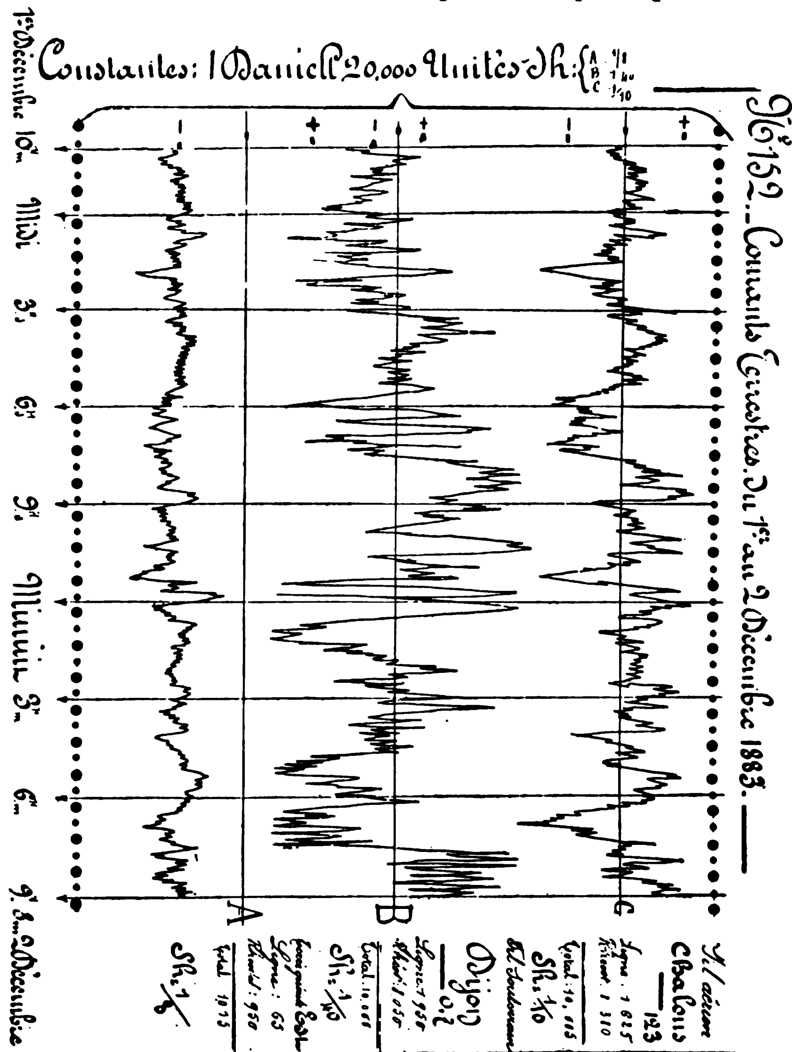
« La résistance du sol autour d'un point, lorsque la communication est bien établie, comme cela a lieu dans nos bureaux télégraphiques, est au plus de 30 à 40 ohms; que peut faire sa variation sur un circuit dont la résistance totale est de 10.000 ohms ?

« M. Larroque pense que les *lignes télégraphiques aériennes, à fil nu, ne se prêtent pas à l'étude des courants telluriques.* Mes expériences prouvent le contraire, puisque les deux fils de Paris à Nancy, l'un aérien et l'autre souterrain, donnent identiquement les mêmes courbes.

« Il croit qu'*il est absolument nécessaire que la ligne soit formée d'un fil très peu résistant, non magnétique, bien isolé et absolument abrité de l'humidité.* Je crois, au contraire : 1° que, pour éviter les effets secondaires, il faut employer un circuit résistant; c'est dans ce but que nous avons adopté 10.000 ohms pour sa résistance; 2° que les propriétés magnétiques du conducteur sont absolument indifférentes; 3° enfin que l'état d'isolement de nos lignes est parfaitement suffisant, puisque, comme je l'ai dit, on trouve le même résultat sur une ligne aérienne et sur une ligne souterraine aboutissant aux

mêmes points extrêmes, et dont les conducteurs sont en fer pour la première et en cuivre pour l'autre. »

La figure ci-dessous est la reproduction par la photo-



gravure des courbes que nous avons obtenues pendant une journée assez agitée (du 1er décembre 10 heures du matin au 2 décembre 9 h. 8 minutes du matin). Du côté gauche sont marqués les constantes des trois galvanomètres, obtenues, ainsi qu'il a été dit, avec un élément Daniell et une résistance de 20.000 ohms.

La courbe C est fournie par la ligne de Paris à Châlon (fil 123) dont la résistance de 1.625 ohms a été complétée et portée à 10.005 ohms par un rhéostat ayant pour résistance 8.310 ohms. Le shunt du galvanomètre est de 1/10 de la résistance du fil du cadre.

La courbe B correspond à la ligne de Paris-Dijon (fil 07). La résistance totale est 10.000 ohms et le shunt 1/10.

Enfin la courbe A est donnée par un fil de 8 kilomètres environ de longueur, allant du poste central de Paris à la gare de l'Est (porte de Flandres). La résistance totale est seulement de 1.025 ohms, et le shunt du galvanomètre est 1/8.

E. E. Blavier.

CHRONIQUE.

Société internationale des électriciens.

Le 13 décembre dernier a eu lieu la réunion constitutive de la Société internationale des électriciens. C'est à cette séance présidée par M. Cochery, Ministre des postes et télégraphes, qu'a eu lieu le vote pour la nomination du bureau et du comité. La liste proposée par le comité d'initiative a été votée à une grande majorité.

Le 21 décembre le comité et le bureau ont tenu leur première séance sous la présidence de M. G. Berger, président.

Une seule démission s'est produite après le vote du 13 décembre ; celle de M. *Gauthier-Villars*, élu trésorier-archiviste et qui, pour raison de santé, a demandé à ne pas faire partie du bureau. Il a été remplacé par M. *Georges Masson*, libraire-éditeur.

Le bureau se trouve définitivement ainsi constitué.

PRÉSIDENT D'HONNEUR.

M. *Ad. Cochery*, Ministre des postes et des télégraphes.

PRÉSIDENT D'HONNEUR DE LA SECTION FRANÇAISE.

M. *J. B. Dumas*, membre de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

PRÉSIDENT.

M. *Georges Berger*, commissaire général de l'exposition internationale d'électricité et du congrès international des électriciens de Paris en 1881.

VICE-PRÉSIDENTS ET SECRÉTAIRES.

1re SECTION. — Électricité théorique. Électromètres. Paratonnerres. — Président : M. *Marié-Davy*, directeur de l'observatoire de Montsouris ; secrétaire : M. *G. Lippmann*, professeur à la Faculté des sciences de Paris.

2e SECTION. — Machines et moteurs électriques. Transport et distribution de l'énergie. — Président : M. *Tresca*, membre de l'Institut; secrétaire : M. *E. Hospitalier*, professeur à l'école municipale de physique et de chimie industrielles, rédacteur en chef du journal l'*Électricien*.

3e SECTION. — Lumière électrique. Actions calorifiques du courant. — Président : M. *Jamin*, membre de l'Institut; secrétaire : M. *Max de Nansouty*, ingénieur, rédacteur en chef du journal *le Génie civil*.

4e SECTION. — Télégraphie. Téléphonie. — Président : M. *E. E. Blavier*, inspecteur général des postes et télégraphes; secrétaire : M. *A. Sabourain*, commis principal des postes et télégraphes, secrétaire du comité d'initiative.

5e SECTION. — Signaux de chemin de fer. Chronométrie. Enregistreurs. — Président : MM. *Maurice-Lævy*, membre de l'Institut, sous-directeur de l'observatoire; secrétaire : M. *D. Napoli*, ingénieur, chef du laboratoire d'essais du chemin de fer de l'Est.

6e SECTION. — Électro-chimie. Électrothérapeutie. Applications diverses. Président : M. *le comte Th. du Mancel*, membre de l'Institut ; secrétaire : M. *G. Sciama*, directeur de la maison Breguet.

Il est décidé que tous les membres du comité auront le droit d'assister à toutes les séances des sections, avec voix *consultative*, ils auront voix délibérative dans deux *sections* où ils se seront fait inscrire à leurs choix. Les présidents et vice-présidents auront voix *délibérative* dans toutes les sections.

TRÉSORIERS-ARCHIVISTES.

MM. *Georges Masson*, libraire-éditeur.
William Laing, électricien.

MEMBRES DU COMITÉ (1).

MM.

Armengaud jeune, ingénieur, président de la chambre syndicale d'électricité, 2, 4.

(*) Les numéros qui suivent chaque nom se rapportent aux sections choisies par chaque membre.

D'Arsonval, directeur du laboratoire de physiologie au Collège de France, 6.

Baille, répétiteur à l'école polytechnique, 1.

Banderali, ingénieur, chef du service central du chemin de fer du Nord, 2, 5.

Baron, administrateur des postes et télégraphes, 4.

E. Baudot, ingénieur des télégraphes, 4.

Edm. Becquerel, membre de l'Institut, 6.

Bergon, directeur-ingénieur des postes et télégraphes, 4.

A. Berthon, ingénieur, chef des services techniques de la société des télégraphes, 2, 4.

G. Boistel, ingénieur, directeur de la maison Siemens, de Paris, 2, 5.

Le docteur *Boudet de Pâris*, 4, 6.

Gustave Cabanellas, ancien officier de marine, ingénieur électricien, 2.

J. Carpentier, ancien ingénieur des manufactures de l'État, successeur de Ruhmkorff, 1, 2.

C. Clamond, ingénieur électricien, 3.

Clérac, ingénieur des télégraphes, 4.

L. Dubreuil, président de la société nationale des architectes, 1.

Ducrétet, ingénieur électricien, 1, 6.

Dumoulin-Froment, constructeur électricien, 4.

Faye, membre de l'Institut, 5.

Friedel, membre de l'Institut, 6.

Gaiffe, ingénieur électricien, constructeur, 1, 6.

Gariel, secrétaire de l'association française pour l'avancement des sciences, 1, 6.

Le docteur *Gavarret*, professeur de physique à l'école de médecine, 1, 6.

P. Jousselin, ingénieur électricien, inspecteur principal de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, 5.

Lartigue, directeur de la société générale des téléphones, 4, 5.

Maurice Lévy, membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 1, 2.

F. Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur du service des phares, 1, 3.

Marey, membre de l'Institut, 5, 6.

G. Masson, libraire-éditeur, 2, 3.

L. Maiche, ingénieur électricien, 2, 4.

Marché, président de la société des ingénieurs civils, 2, 5.

Le commandant *Mathieu*, directeur de l'école des défenses sous-marines de Boyardville, 3.

Mercadier, directeur des études à l'école polytechnique, 1, 4.

A. de Meritens, ingénieur, constructeur électricien, 2, 6.

D. Monnier, ingénieur, 2, 3.

R.-V. Picou, ingénieur électricien, directeur de la compagnie Edison, 2, 3.

J. Pollard, ingénieur des constructions navales, 2, 3.

J. Raynaud, ingénieur des télégraphes, 1, 4.

E. Reynier, ingénieur électricien, 3.

E. Sartiaux, ingénieur électricien, sous-chef du service télégraphique au chemin de fer du Nord, 4, 5.

Le colonel *Sébert*, directeur du laboratoire central de la marine, 4, 5.

Séligmann-Lui, ingénieur des télégraphes, 2, 3.

V. Serrin, ingénieur électricien, 3.

G. Tissandier, directeur du journal *la Nature*, 2, 6.

Le commandant *A. Trève*, 1, 5.

Le docteur *Tripier*, 6.

L'abbé *Valette*, directeur du journal le *Cosmos-les-Mondes*, 3, 6.

J. Violle, électricien, professeur à la Faculté des sciences de Lyon, 1, 3.

H. Vivarez, ingénieur civil des mines, 3, 4.

V. Williot, chef de service technique à la direction des travaux de Paris, 5.

Comité des publications. — Le comité des publications, présidé par M. *le comte Th. du Moncel*, se composera des six secrétaires et de MM. *Armengaud jeune*, *le docteur Boudet de Pâris*, *Gustave Cabanellas*, *Georges Masson*, *G. Tissandier*, l'abbé *Valette*.

Mesures des forces électromotrices.

Par M. REYNIER.

On sait que la force électromotrice des couples *à un seul électrolyte* (*) est très variable; elle diminue par la fermeture du circuit et augmente par le repos de la pile; pour une même combinaison voltaïque, elle paraît plus élevée avec une électrode positive dont la surface est très grande relativement à celle de l'électrode négative. Aussi les forces électromotrices *apparentes* de ces couples changent-elles avec la construction de la pile, les circonstances des expériences et les méthodes de mesure employées.

Parmi toutes les valeurs que peut prendre la force électromotrice d'un couple, il y en a deux qu'il faut connaître : la plus grande et la plus petite. Je crois avoir réussi à obtenir avec certitude la mesure de ces grandeurs extrêmes, au moyen des deux modèles de pile que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie. Chacun de ces deux modèles peut être monté avec divers liquides et des électrodes positives et négatives variées.

Le *couple à maxima* possède une électrode positive, plissée et ajourée, développant une surface efficace de 30 décimètres cubes, c'est-à-dire trois cents fois plus grande que celle de l'électrode négative. Celle-ci se compose d'un fil de 3 millimètres de diamètre, plongeant au centre du récipient; on peut la soulever hors du liquide et l'y maintenir, au moyen d'une vis de pression agissant sur le manchon dans lequel elle est guidée. Une pièce isolante, fixée sur l'électrode, prévient toute dérivation par le couvercle et sert de butée quand on soulève le fil négatif pour mettre la pile au repos.

Ce couple, dont la capacité est de 800 centimètres cubes, a une résistance de $0^{ohm},2$ à 4 ohms, selon le liquide employé : valeur négligeable quand la résistance totale du circuit galvanométrique atteint plusieurs milliers d'ohms; sa force électro-

(*) L'expression de « pile à un *seul* électrolyte », adoptée ici, a été proposée par le très regretté Alfred Niaudet, pour remplacer l'expression ancienne de *pile à un seul liquide*, dont le sens est trop général, car elle semble comprendre les couples à sels ou oxydes insolubles, qui sont des piles à deux électrolytes.

motrice perd moins d'un centième de sa valeur par un travail de deux heures à l'intensité de *un milliampère*. On peut donc considérer la pile comme constante, pendant le peu de minutes nécessaires à une mesure de potentiel par les méthodes galvanométriques connues.

Le *couple à minimum* a les mêmes dimensions extérieures que le précédent ; mais c'est l'électrode négative qui possède ici la plus grande surface, 5 décimètres cubes environ. L'électrode positive est un fil de $0^{mm},5$ de diamètre, dont la surface immergée à moins de 1 centimètre cube. Les résistances de cette pile sont à peu près les mêmes que celles du couple à maximum.

Pour mesurer la force électromotrice minimum du couple, on met les deux fils qui vont au galvanomètre en communication avec les deux bornes d'une clef de court circuit ; on ferme la clef pendant plusieurs heures, puis on l'ouvre, et l'on fait aussitôt une mesure qui donne une valeur très approchée, sinon exacte, de la différence de potentiel cherchée. L'électrode positive de ce couple ayant une très petite surface, les produits d'oxydation formés par l'action de l'air ne s'élaborent qu'en faible quantité ; ils sont complètement réduits par la fermeture en court circuit et ne se reforment pas assez vite pour troubler sensiblement la mesure. A l'ouverture de la clef, *le couple ne renferme point de corps autres que ceux contenus d'après sa définition.*

Avec ces deux modèles de pile, j'ai mesuré les forces électromotrices maxima et minima d'un certain nombre de combinaisons voltaïques à un seul électrolyte. Voici le tableau des chiffres obtenus :

DÉSIGNATION DES PILES.			FORCES ÉLECTROMOTRICES EN VOLTS.	
Liquides.	Électrode négative.	Électrode positive.	Maxima.	Minima.
	Zinc ordinaire	Iridium	»	0,270
	Zinc amalgamé	»	»	0,289
	Zinc ordinaire	Platine	»	0,5
	Zinc amalgamé	»	»	0,561
	Zinc ordinaire	Or	»	<0,156
	Zinc amalgamé	»	»	0,128
'au acidulée sulfurique.	Zinc ordinaire	Argent	»	<0,098
	Zinc amalgamé	»	»	0,108
.... 1,000 vol.	Zinc ordinaire	Charbon	»	0,04
ılfurique monohy-	Zinc amalgamé	»	»	0,226
.... 2 »	Zinc ordinaire	Plomb.	»	0,144
	Zinc amalgamé	»	»	0,152
	Zinc ordinaire	Cuivre	0,94	0,194
	Zinc amalgamé	»	1,072	0,272
	Zinc ordinaire	Fer	0,429	0,309
	Zinc amalgamé	»	0,476	0,323
	Zinc amalgamé	Zinc ordinaire	»	0,09
	Fer	Cuivre	0.49 à 0.51	»
	Zinc ordinaire	Iridium	»	0,052
	»	Platine	»	0,034
	»	Or	»	<0,028
	»	Charbon	»	<0,040
tion de chlorure de sodium.	»	Argent	»	0,043
	»	Cuivre	0,78	0,023
.... 1.000 gr.	Zinc amalgamé	»	0,82	
e de sodium.... 250 »	Zinc ordinaire	Fer	0,378	0,046
	Zinc amalgamé	»	0,469	»
	Zinc ordinaire	Plomb	0,503	0,044
	Zinc amalgamé	»	0,52	»
	Fer	Cuivre	0,27 à 0,26	»
	Plomb	»	0,27 à 0,25	»
Chlorure de zinc.				
.... 1.000 gr.	Zinc ordinaire	Cuivre	0,85	»
re de zinc...... 110 »	Zinc amalgamé	»	0,86	»
Sulfate de zinc.				
.... 1.000 gr.	Zinc ordinaire	Cuivre	0,998	»
de zinc....... 500 »	Zinc amalgamé	»	1,04	»
Soude à la chaux.				
.... 1,000 gr.	Zinc ordinaire	Cuivre	1,06	»
à la chaux..... 250 »	Zinc amalgamé	»	1,09	»

D'après les considérations exposées plus haut, il me semble que la force électromotrice minima d'un couple à un seul électrolyte doit être considérée comme la force électromotrice *vraie* du système ; la surélévation de cette force jusqu'au

maximum résulterait de l'addition spontanée de produits d'oxydation formés par l'intervention de l'air, produits dont l'action ne devrait pas être confondue avec les énergies chimiques mises en jeu dans le couple proprement dit. Je me permets de signaler cette observation aux physiciens qui cherchent à établir des concordances entre les forces électromotrices des piles et les données de la thermochimie.

(*Comptes rendus.*)

Les conducteurs électriques.

Dans ces dernières années, les communications télégraphiques et téléphoniques se sont tellement multipliées qu'on a reconnu la nécessité d'améliorer les conducteurs électriques primitivement employés. La création de réseaux aériens, notamment aux États-Unis et en Angleterre, a fait apprécier l'avantage qu'il y aurait à substituer au fer ou à l'acier un métal plus léger à égalité de conductibilité électrique et de résistance aux efforts mécaniques. Nous nous sommes efforcés de faire connaître les différentes inventions qui se sont présentées dans ces derniers mois pour donner satisfaction aux exigences sans cesse croissantes des électriciens et nous avons cité des chiffres dont nous croyons pouvoir garantir l'exactitude. Nous ne laisserons pas passer une occasion de fournir à nos lecteurs tous les éléments nécessaires pour qu'ils puissent se faire eux-mêmes une opinion, et, à ce titre, nous croyons utile de résumer la conférence faite à l'Institution des ingénieurs civils de Londres par M. W. H. Preece sur les *conducteurs électriques*.

L'éminent ingénieur en chef du Post Office a rappelé les progrès accomplis dans la fabrication des conducteurs depuis l'organisation des services télégraphiques, et la part importante qu'il a prise à leur développement donne à ses paroles une incontestable autorité.

« Les premiers fils aériens étaient en cuivre et les premiers fils à enveloppe isolante de gutta-percha étaient en fer ; on ne tarda pas à intervertir le rôle des deux métaux en employant

le cuivre pour les conducteurs isolés et le fer pour les conducteurs aériens. Actuellement le fil de cuivre est réservé pour les câbles sous-marins ou souterrains, les machines et les appareils électriques, tandis que le fil de fer est généralement adopté pour la construction des lignes télégraphiques aériennes.

La conductibilité électrique du *fer* du commerce est six à sept fois plus faible que celle du cuivre ; elle varie d'ailleurs d'une façon assez sensible par suite des impuretés que contient le métal. Cette conductibilité augmente avec la proportion de fer pur contenu dans le fil, mais elle diminue très rapidement par la présence du manganèse dont l'effet est beaucoup plus nuisible que celui du soufre ou du phosphore. La durée du fil de fer est assurée par la galvanisation; lorsque le conducteur galvanisé doit être suspendu dans une atmosphère remplie de fumée, il est de plus protégé par une enveloppe tressée soigneusement goudronnée. Dans certaines régions, on a pu se dispenser de galvaniser le fil et on s'est contenté de le tremper dans de l'huile de lin. Un conducteur, fabriqué de cette manière, a été placé en 1856 entre Londres et Crewe, mais le résultat a été tout à fait défavorable ; en 1881 on a recommencé la même expérience mais sans plus de succès. Dans nos climats, la galvanisation est indispensable. Mais ce n'est pas seulement dans une atmosphère pleine de fumée que le fil de fer se détériore ; il souffre aussi beaucoup sur le bord de la mer. L'oxyde de zinc se trouve en effet décomposé et donne des produits solubles en laissant le métal à nu. Au contraire lorsqu'il n'y a pas de cause extérieure de détérioration, le temps semble n'avoir aucun effet sur le fil de fer. Les lignes du London and South Western Railway fonctionnent sans interruption depuis 29 ans et on n'aperçoit aucune modification dans la structure moléculaire du fer.

Les procédés de fabrication influent aussi sur la qualité du fer ; le fer de Suède est très recherché, non pas seulement à cause de sa grande pureté, mais encore parce qu'il est fondu et puddlé avec du charbon de bois. Le meilleur fer provient d'un mélange de différents minerais effectué suivant des proportions déterminées.

Le fil *d'acier* a d'abord été employé pour constituer l'enve-

loppe protectrice des câbles transatlantiques (1865). Depuis cette époque, il a généralement servi pour les câbles des mers profondes. Dans ces conditions son diamètre est de 2 millimètres et demi et il doit résister à un effort de tension de 634 kilos. Mais on a pu obtenir des fils d'acier à résistance beaucoup plus grande.

Un fil *compound d'acier et de cuivre* a été imaginé en Amérique vers l'année 1874, mais il ne donna pas de bons résultats. Récemment, on a construit entre New-York et Chicago, sur une distance de 1.000 milles, une ligne en fil compound dont la résistance électrique n'est que de 1,7 ohm par mille. Ce fil possède un noyau en acier de 3,1 millimètres de diamètre, recouvert de cuivre; le diamètre extérieur est de 6,2 millimètres; il pèse 317 kilos par mille. Du cuivre bien étiré ou du bronze silicieux donneraient d'aussi bons résultats tout en étant beaucoup plus légers.

Le *bronze phosphoreux*, dont on connaît les hautes qualités mécaniques et la résistance à la rupture, a été introduit dans la télégraphie il y a environ cinq ans. Plusieurs lignes furent construites par les offres du Post Office, et entre autres celle qui reliait le phare de Mumble au promontoire de Swansea. Le but de cet essai était de voir si ce nouveau fil possédait une résistance à la rupture suffisante et s'il ne serait pas attaqué par l'action de la mer. Cette ligne fut installée en 1879 et, en novembre 1883, elle n'avait subi aucun changement appréciable.

Mais le bronze phosphoreux, quoique très employé, possède une haute résistance électrique : sa conductibilité n'est que 20 p. 100 de celle du cuivre. De plus, le fil de ce métal n'a pas des dimensions régulières ; il est cassant et ne supporte pas les plis et les nœuds. Un nouvel alliage, le *bronze silicieux*, a récemment été imaginé pour remédier à ces inconvénients, et a remplacé le bronze phosphoreux dans la télégraphie.

La conductibilité du bronze silicieux est à peu près égale à celle du cuivre, mais elle diminue quand sa force mécanique augmente. Le fil dont la conductibilité est 90 p. 100 de celle du cuivre pur, donne une résistance à la rupture de 44 kilos par millimètre carré; lorsque la première est de 34 p. 100,

la deuxième est de 78 kilos par millimètre carré. La légèreté du bronze silicieux, sa résistance mécanique, sa haute conductibilité, son inoxydabilité le rendent éminemment propre au service de la télégraphie. Si les lignes aériennes étaient faites avec ce fil et placées avec ordre sur des supports élégants, ce serait la fin de cette croisade déraisonnable entreprise dans certains endroits pour obtenir leur suppression. Construites avec bon sens et sous un contrôle convenable, les lignes aériennes sont plus efficaces que les lignes souterraines. Elles résistent mieux qu'on ne pense au vent et à la neige, ne sont pas soumises aux perturbations électriques, peuvent être rendues silencieuses et permettent aux poteaux existants de supporter un bien plus grand nombre de fils. Avec le bronze silicieux, les municipalités et les autorités locales ne pourraient plus exiger leur destruction et imposer aux administrations des dépenses inutiles, tout en diminuant la capacité de travail.

La forme et la nature des conducteurs électriques doivent varier avec le but qu'ils sont appelés à remplir. Pour les câbles sous-marins et les circuits de lumière électrique, où la résistance mécanique n'est pas utile et où les dimensions sont de la plus grande importance, les conducteurs doivent être faits avec le cuivre le plus pur. Les lignes aériennes ne nécessitent pas seulement une grande résistance mécanique : avec les appareils à transmission rapide qui sont employés aujourd'hui, ces lignes doivent avoir une haute conductibilité et une faible capacité électrostatique, offrir peu de surface au vent et à la neige et être pratiquement indestructibles. Le fer a été employé jusqu'à cette époque, mais le cuivre et ses alliages semblent destinés à le supplanter dans de nombreux cas, en remplissant les conditions d'un meilleur fonctionnement et en n'occasionnant pas des dépenses plus élevées. »

(*Bulletin de la Compagnie internationale des téléphones.*)

Électricité développée par les courroies dans les filatures.

On sait que dans les filatures de coton et de laine, il se développe sur les courrois de transmission, par suite de leur frottement sur les poulies métalliques, une certaine quantité d'électricité qui apporte des obstacles ou des dérangements au point de vue de la fabrication. D'intéressantes observations ont été faites à ce sujet en Amérique, à Lowel, Manchester, Concord et autres centres manufacturiers, et ont été résumées dans une thèse soutenue devant l'Institut de technologie de Boston par M. Harwey Chase. La quantité d'électricité développée sur les courroies peut-être assez grande pour produire des étincelles de plus d'un demi-pouce de longueur, et pour donner des secousses au graisseur de la machine et aux personnes à proximité. Cette électricité attire aussi les corps légers, la laine, le coton. Les arbres auxquels sont reliées les poulies, se chargent par contact. Il en est de même des machines, et, dans ce cas, le dommage est plus sérieux, parce que l'électricité se communique aux fibres de coton, et lorsque le coton est électrisé, il peut arriver que le travail soit impossible si le coton est teint, la teinture lui donnant des propriétés nouvelles. Il y a encore trouble dans la fabrication, quand on fait passer les étoffes, pour les terminer, entre des rouleaux de bois ou de fer. Elles s'électrisent, se plissent et s'attachent les unes aux autres. Depuis plus de vingt ans, les filateurs de Lowell emploient, pour empêcher la production de cette électricité, une série de pointes métalliques placées en face de la courroie et reliées à la terre, soit par un conducteur direct, soit par un tuyau d'eau ou de gaz, ou bien on dispose parallèlement à la courroie et près d'elle, un fil de cuivre relié à la terre. Cependant, le procédé des pointes métalliques n'est plus applicable lorsqu'il s'agit de décharger le coton lui-même, et la laine électrisée par leur frottement contre les dents des cardes. L'opération devient, dans ce cas, d'autant plus difficile que la cellulose, surtout losqu'elle est sèche, conduit mal l'électricité et qu'il est impossible de pénétrer jusqu'à chaque molécule d'une masse de

coton. Les dents métalliques des cardes sont alors mises en communication avec la terre, et comme tous les fibres de la matière viennent les toucher, on peut obtenir la neutralisation de ces fibres.

La quantité d'électricité développée dans les usines varie suivant les saisons et les jours. Ces changements sont dus à l'humidité plus ou moins grande de l'air, l'humidité permettant aux corps électrisés de se décharger dans l'atmosphère. Pour combattre cette humidité, on envoie de la vapeur dans la plupart des ateliers. Quelquefois, ce procédé est insuffisant; on a alors recours à des appareils spéciaux, tels que ceux de Garland. Un autre procédé en usage à Lowell pour neutraliser les fluides qui chargent la laine dans les cardes, consiste dans l'emploi d'un tuyau de gaz, muni de plusieurs trous à son extrémité, et que l'on conduit sous la carde; les gaz provenant de la combustion de ce bec particulier montent dans la machine et suffisent pour absorber toute l'électricité contenue dans la cellulose. (*La lumière électrique.*)

Nouveau galvanomètre apériodique.

De M. Le Goarant de Tromelin.

Si l'on ajoute une troisième aiguille aimantée à un galvanomètre astatique, de telle sorte que cette dernière soit au-dessous du cadre et parallèle aux deux autres, et que ses pôles soient de noms contraires à ceux de l'aiguille qui est au-dessus d'elle, on obtient un galvanomètre dont la sensibilité est à peu près triplée, et qui conserve une force directrice. On peut renverser la disposition : rendre le cadre mobile, dans lequel le courant arriverait par le fil de suspension, et laisser les aiguilles fixes.

Les considérations qui précèdent m'ont conduit à imaginer un *galvanomètre apériodique*, que j'ai exposé à l'exposition d'électricité de Vienne. Un modèle plus parfait a depuis été construit par la maison Breguet; en voici la description :

Dans l'instrument cité, on conserve les six pôles, mais ces

pôles sont formés par trois aimants en fer à cheval, à branches très rapprochées. Ces trois aimants fixes sont placés horizontalement, l'un au-dessus de l'autre, à une distance de $0^m,005$. Le cadre entoure les deux pôles de l'aimant du milieu, avec un jeu suffisant pour lui permettre d'osciller librement et d'obtenir 20 degrés de déviation de chaque côté. Le fil de ce petit cadre très léger est perpendiculaire à l'axe des aimants, et le courant y arrive par le fil de suspension, comme dans le siphon-recorder de Sir W. Thomson et autres cadres analogues.

Si l'on met en communication ce galvanomètre avec les deux bornes d'nn téléphone dont on a enlevé la plaque vibrante, il suffit, pour faire dévier le cadre, de laisser sur le pôle de l'aimant du téléphone un petit morceau de limaille de fer de quelques milligrammes. Cet exemple suffira pour faire apprécier sa sensibilité.

Il est complètement apériodique, c'est-à-dire que, si les deux bornes de ce galvanomètre sont réunies par un fil peu résistant, le cadre ayant été dévié de sa position, il s'arrête au zéro sans le dépasser.

Si l'on examine la position des lignes de force, par rapport aux quatre côtés du cadre, on voit que l'induction électromagnétique se produit sur les quatre côtés de ce cadre et dans le même sens.

Résistance électrique de plusieurs substances isolantes.

Extrait d'une note de M. G. FOUSSEREAU (*Comptes rendus*).

1. Dans deux communications précédentes (*), j'ai décrit une méthode qui m'a permis d'étudier la résistance du verre par la mesure du temps nécessaire pour charger un condensateur, à une différence de potentiel déterminée, à travers la résistance à expérimenter. J'ai appliqué depuis lors cette méthode à diverses autres substances isolantes.

(*) *Comptes rendus*, 31 juillet 1882 et 19 mars 1883.

En opérant sur des tubes en porcelaine, j'ai reconnu que la résistance de cette substance suit, quand on fait varier la température, une marche analogue à celle que j'avais déjà observée pour les différents verres ; elle est du même ordre de grandeur que celle des verres très isolants à base de plomb. Cette résistance atteint, en millions de mégohms, par centimètre cube,

751 à 60°,
0,052 à 180°.

2. Pour étudier la résistance du soufre, on fondait ce corps dans une éprouvette en verre où l'on faisait plonger deux électrodes de zinc concentriques enroulées en cylindres. Cette disposition, qui ramène la matière isolante à la forme d'un tube cylindrique creux, présente l'avantage d'éliminer toute influence perturbatrice dépendant de la conductibilité de l'enveloppe de verre.

En opérant sur du soufre préalablement fondu, puis refroidi lentement à l'état prismatique, on a constaté une conductibilité notable dans le voisinage du point de fusion, mais disparaissant rapidement quand la température s'abaisse. Les résistances obtenues ont varié entre

7,39 pour la température 112°,1,
3930 pour » 69°.

Au-dessous de cette dernière température, la conductibilité cesse d'être mesurable.

Le même soufre prismatique, refroidi et abandonné à lui-même à la température ordinaire, se dévitrifie et reprend peu à peu une conductibilité appréciable. A la température 17°, la résistance était devenue 1170 après un jour, 705 après deux jours.

D'autre part, en opérant avec un cristal de soufre octaédrique naturel compris entre deux électrodes de mercure, je n'ai pu apercevoir aucune trace de conductibilité aux températures ordinaires. Le phénomène ne commence à se manifester que vers 80°. Il semble donc que l'existence de l'état cristallin rende en général le soufre plus isolant.

3. En passant à l'état liquide, le soufre devient subitement

quarante fois plus conducteur. Quand on fait varier sa température entre 114° et 150° avec une lenteur suffisante pour lui permettre d'atteindre son état définitif, on observe que la résistance diminue quand la température s'élève et croît régulièrement quand elle s'abaisse, variant entre ces limites dans la proportion de 9 à 1. Si on laisse cristalliser le soufre sous la forme prismatique et qu'on le fonde de nouveau, on observe une diminution de résistance aux mêmes températures. Ce résultat peut être rapproché d'une remarque de M. Gernez, d'après laquelle une variété de soufre ne prend entièrement les propriétés d'une autre variété qu'après plusieurs cristallisations. Le phénomène est surtout sensible quand on fait cristalliser plusieurs fois en prismes du soufre primitivement octaédrique. La résistance à 115° devient alors peu à peu deux fois plus faible.

4. Les phénomènes prennent une allure très différente quand on porte le soufre au delà de 160°. On observe vers cette température un ralentissement sensible du thermomètre, en même temps qu'un changement de couleur et de consistance dans le liquide. La résistance qui avait jusque-là diminué régulièrement augmente par suite de cette modification. Le liquide ramené au point de fusion conserve des résistances beaucoup plus considérables que les premières, et cet accroissement est d'autant plus sensible que le soufre a été porté à une température plus élevée, qu'il est demeuré plus longtemps à cette température et qu'il a franchi plus vite, en se refroidissant, les températures voisines de 155° où le phénomène inverse se produit. Après plusieurs opérations de ce genre, on a pu rendre douze fois plus résistant le soufre ramené à son point de fusion. La résistance ne diminue ensuite que très lentement si ce soufre est abandonné pendant quelque temps à la température ordinaire, puis fondu de nouveau.

La pêche électrique.

La lumière attire le poisson. Chacun connaît la pêche aux flambeaux, trop pratiquée dans les campagnes, dont elle

ravage rapidement les ruisseaux. On a souvent constaté sur les plages battues par le vent, et alors que la lune les éclaire en plein, une grande abondance de poissons jetés sur la rive.

Aussi est-il bien naturel de demander à l'électricité son concours pour la pêche. Depuis longtemps déjà l'essai en avait été tenté, mais l'exécution était difficile. Sans doute, avec l'arc voltaïque, on peut éclairer la surface, mais il fallait arriver à éclairer l'intérieur même de la mer. Les lampes à incandescence seules pouvaient permettre de résoudre le problème. Mais, là encore, que de difficultés ! On a d'abord essayé une lanterne à deux épaisseurs de verre, qui fonctionnait bien à une faible profondeur; mais dès qu'on est descendu à 150 pieds, les garnitures ont cédé et la lampe s'est éteinte. On a alors consolidé les joints ; mais, en descendant, les globes de verre ont été écrasés par la pression d'eau. Une autre fois, les connexions des fils de platine avec le câble se sont rompues. On voit toutes les difficultés à vaincre, qui n'ont rien d'étonnant si l'on songe qu'à 400 brasses de profondeur la pression dépasse 250 livres par pouce carré.

On est aujourd'hui parvenu à fabriquer une lampe Edison, qui a pu bien fonctionner à une profondeur de 750 pieds. Pour arriver à ce résultat, il a fallu apporter les plus grands soins à tous les détails de la fabrication, et notamment à la confection du point d'attache des fils de platine avec les fils extérieurs.

Pour s'assurer que la lampe plongée dans la mer fonctionne, on met une deuxième lampe sur le circuit extérieur. Le moindre affaiblissement et la rupture de la lampe immergée se traduisent sur la deuxième lampe, dont l'éclat augmente immédiatement. C'est sur un bateau de pêche américain, l'*Albatros*, que l'expérience vient d'être faite et a été couronnée de succès. (*L'Électricité.*)

Nécrologie.

SIR CHARLES WILLIAM SIEMENS.

La science de l'électricité vient de faire une nouvelle perte dans la personne de Sir Charles William Siemens, décédé à Londres, le 21 novembre dernier, à l'âge de soixante ans.

C. W. Siemens, né à Lenth, dans le Hanovre, s'était fixé en Angleterre, où il se fit naturaliser en 1859. Depuis son établissement dans sa nouvelle patrie, sa vie a été marquée par une suite ininterrompue d'inventions, parmi lesquelles nous nous bornerons à citer : son régulateur chronométrique ; son régénérateur pour récupérer le calorique dans les fours, à l'aide de briques qui deviennent incandescentes et dont la chaleur sert à réchauffer l'air des souffleries; son compteur d'eau; ses procédés pour le traitement de l'acier, etc... Nous n'avons pas besoin de rappeler ici ces nombreux travaux en électricité, ses relais, ses appareils télégraphiques, son unité de résistance employée pendant de longues années, ses lampes électriques, ses machines électromagnétiques, et, en particulier, son système de traction des wagons par l'électricité, etc., etc... La plupart de ses inventions faites en collaboration de son frère, Werner Siemens, ont figuré à l'Exposition universelle de Paris de 1881.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME X^e. — ANNÉE 1883.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Juillet-Août (*).

Numéro de Septembre-Octobre.

(*) Par suite d'une erreur de pagination, on passe de la page 284 à la page 385 sans qu'il y ait de lacune dans le texte.

Numéro de Novembre-Décembre.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME X[e]. — ANNÉE 1883.

A

B

C

D

N

O

P

R

S

T

FIN DES TABLES.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

